

**PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* PADA KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI DENGAN *SILICA FUME*, *SUPERPLASTICIZER*, DAN *FILLER PASIR KUARSA***

Laporan Tugas Akhir  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dari  
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Oleh :  
MARSIANUS DANASI  
NPM. : 090213373



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**  
**YOGYAKARTA**  
**APRIL 2014**

**PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* PADA KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI DENGAN *SILICA FUME*, *SUPERPLASTICIZER*, DAN *FILLER PASIR KUARSA***

Laporan Tugas Akhir  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dari  
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Oleh :  
MARSIANUS DANASI  
NPM. : 090213373



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA  
APRIL 2014**

## **PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir dengan judul :

**PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH PADA KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI DENGAN SILICA FUME, SUPERPLASTICIZER, DAN FILLER PASIR KUARSA**

benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data hasil penelitian maupun kutipan, baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir ini. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, April 2014

Yang membuat pernyataan,



(MARSIANUS DANASI)

## PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir

### **PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* PADA KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI DENGAN *SILICA FUME*, *SUPERPLASTICIZER*, DAN *FILLER PASIR KUARSA***

Oleh :  
MARSIANUS DANASI  
NPM. : 090213373

telah disetujui oleh Pembimbing

Yogyakarta, 23 April 2014

Pembimbing

Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng.

Disahkan oleh :

Program Studi Teknik Sipil

Ketua



## PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir

### **PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH PADA KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI DENGAN SILICA FUME, SUPERPLASTICIZER, DAN FILLER PASIR KUARSA**



Oleh :  
**MARSIANUS DANASI**  
NPM. : 090213373

Telah diuji dan disetujui oleh :

|       | Nama                                 | Tanda tangan | Tanggal   |
|-------|--------------------------------------|--------------|-----------|
| Ketua | : Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M. Eng. |              | 29/4/2014 |

Sekretaris : Ir. Agt. Wahjono, M.T.

Anggota : Angelina Eva Lianasari, S.T.,M.T.

**MOTTO**



## **PERSEMBAHAN**

Karya ini saya persembahkan kepada :

1. Keluarga besar saya yang selalu mendukung dan memotivasi saya dalam pendidikan.
2. Keluarga besar Gereja KIBAID Jemaat Yogyakarta yang juga saya anggap sebagai keluarga saya, yang selalu mendukung dan memotivasi saya selama saya berada di Yogyakarta.
3. Teman-teman seperjuangan saya dalam perkuliahan yang banyak membantu saya dalam belajar.
4. Sahabat-sahabat saya.

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur penulis sampaikan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan kasih-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Adapun tujuan penulisan Tugas Akhir dengan judul “PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* PADA KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI DENGAN *SILICA FUME*, *SUPERPLASTICIZER*, DAN *FILLER PASIR KUARSA*“ adalah untuk melengkapi syarat dalam menyelesaikan jenjang pendidikan tinggi Program Strata-1 (S-1) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak mungkin dapat diselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Bapak Johanes Januar Sudjati, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya.
3. Bapak Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M. Eng., selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar meluangkan waktu untuk

memberikan petunjuk dan membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

4. Bapak Ir. Haryanto Y.W., M.T., yang telah mengajarkan penulis tentang kedisiplinan.
5. Bapak V. Sukaryantara, selaku Staf Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah banyak membantu dan membagi saran selama penelitian.
6. Para dosen di Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah bersedia mendidik dan membagikan ilmu kepada penulis.
7. Keluarga yang selalu memberi dukungan doa, perhatian, dan semangat kepada penulis.
8. Teman seperjuangan tugas akhir Petrus Peter Siregar.
9. Teman-teman yang membantu penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Yogyakarta, April 2014

MARSIANUS DANASI  
NPM : 090213373

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                     | i    |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>                | ii   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>                | iii  |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI .....</b>        | iv   |
| <b>HALAMAN MOTTO .....</b>                     | v    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>               | vi   |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                    | vii  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                         | ix   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                      | xi   |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                      | xii  |
| <b>DAFTAR NOTASI.....</b>                      | xiii |
| <b>DAFTAR PERSAMAAN .....</b>                  | xiv  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                   | xv   |
| <b>INTISARI .....</b>                          | xvi  |
| <br>   |      |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                  | 1    |
| 1.1. Latar Belakang .....                      | 1    |
| 1.2. Rumusan Masalah.....                      | 3    |
| 1.3. Batasan Masalah.....                      | 4    |
| 1.4. Keaslian Penelitian .....                 | 5    |
| 1.5. Tujuan Penelitian .....                   | 6    |
| 1.6. Manfaat Penelitian.....                   | 6    |
| <br>   |      |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>           | 7    |
| <br>   |      |
| <b>BAB III LANDASAN TEORI .....</b>            | 11   |
| 3.1. Beton .....                               | 11   |
| 3.1.1. Beton Mutu Tinggi .....                 | 12   |
| 3.2. Material Penyusun Beton Mutu Tinggi ..... | 12   |
| 3.2.1. Semen <i>Portland</i> .....             | 13   |
| 3.2.2. Agregat .....                           | 14   |
| 3.2.3. Air .....                               | 17   |
| 3.2.4. Bahan Tambah .....                      | 18   |
| 3.3. Kuat Tekan Beton.....                     | 20   |
| 3.4. Modulus Elastisitas Beton .....           | 23   |
| <br>   |      |
| <b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....</b>       | 25   |
| 4.1. Alat Penelitian .....                     | 25   |
| 4.2. Bahan Penelitian .....                    | 34   |
| 4.3. Benda Uji .....                           | 37   |
| 4.4. Tahap Penelitian.....                     | 38   |
| 4.5. Pemeriksaan Bahan.....                    | 43   |

|  |    |
|--|----|
| 4.5.1. Pemeriksaan Agregat Halus.....  | 43 |
| 4.5.1.1. Pemeriksaan Kandungan Lumpur .....                                    | 43 |
| 4.5.1.2. Pemeriksaan Kandungan Zat Organik ...                                 | 44 |
| 4.5.1.3. Pemeriksaan Gradasi .....   | 45 |
| 4.5.1.4. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan                                | 46 |
| 4.5.1.5. Pemeriksaan Kadar Air.....  | 48 |
| 4.5.2. Pemeriksaan Agregat Kasar .....   | 48 |
| 4.5.2.1. Pemeriksaan Kandungan Lumpur .....                                    | 49 |
| 4.5.2.2. Pemeriksaan Keausan dengan Mesin<br><i>Los Angeles Abration</i> ..... | 50 |
| 4.5.2.3. Pemeriksaan Gradasi .....   | 51 |
| 4.5.2.4. Pemeriksaan Berat Jenis dan<br>Penyerapan .....                       | 52 |
| 4.5.1.5. Pemeriksaan Kadar Air.....  | 53 |
| 4.5.3. Pemeriksaan <i>Fly Ash</i> .....  | 53 |
| 4.6. Pembuatan Benda Uji.....  | 54 |
| 4.7. Pengujian Nilai <i>Slump</i> .....  | 55 |
| 4.8. Perawatan Benda Uji .....   | 55 |
| 4.9. Prosedur Pengujian Kuat Tekan dan<br>Modulus Elastisitas .....            | 56 |
| 4.9.1. Prosedur Pengujian Kuat Tekan .....                                     | 57 |
| 4.9.2. Prosedur Pengujian Modulus Elastisitas.....                             | 58 |
| 4.10. Kesulitan dalam Pelaksanaan .....  | 59 |
| 4.11. Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir.....                                      | 59 |
| <b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>                             | 61 |
| 5.1. Hasil Pemeriksaan Bahan Campuran Beton.....                               | 61 |
| 5.1.1. Pemeriksaan Agregat Halus.....  | 61 |
| 5.1.2. Pemeriksaan Agregat Kasar.....  | 62 |
| 5.1.3. Pemeriksaan Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) .....                        | 63 |
| 5.2. Kebutuhan Bahan Adukan .....  | 65 |
| 5.3. Hasil Pengujian .....   | 66 |
| 5.3.1. Hasil Pengujian <i>Slump</i> .....                                      | 66 |
| 5.3.2. Hasil Pengujian Berat Jenis Beton.....                                  | 69 |
| 5.3.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan .....  | 70 |
| 5.3.4. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas.....                                | 74 |
| <b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>  | 77 |
| 6.1. Kesimpulan .....  | 77 |
| 6.2. Saran .....   | 78 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>   | 79 |
| <b>LAMPIRAN .....</b>  | 81 |

## **DAFTAR TABEL**

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Tabel 3.1.  | Gradasi Pasir .....  | 16 |
| Tabel 3.2.  | Gradasi Kerikil .....  | 17 |
| Tabel 4.1.  | Jumlah Benda Uji Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas .....                      | 38 |
| Tabel 4.2.  | Jadwal Penelitian .....  | 60 |
| Tabel 5.1.  | Hasil Pengujian Agregat Halus.....   | 62 |
| Tabel 5.2.  | Hasil Pengujian Agregat Kasar.....   | 63 |
| Tabel 5.3.  | Hasil Pengujian <i>Fly Ash</i> .....   | 64 |
| Tabel 5.4.  | Proporsi Campuran Adukan Beton untuk Setiap Variasi Per 1 m <sup>3</sup> ..... | 65 |
| Tabel 5.5.  | Proporsi Campuran Adukan Beton untuk Setiap Variasi per satu kali adukan.....  | 66 |
| Tabel 5.6.  | Hasil Pengujian <i>Slump</i> Beton Umur 7 Hari .....                           | 67 |
| Tabel 5.7.  | Hasil Pengujian <i>Slump</i> Beton Umur 14 Hari .....                          | 67 |
| Tabel 5.8.  | Hasil Pengujian <i>Slump</i> Beton Umur 28 Hari .....                          | 68 |
| Tabel 5.9.  | Berat Jenis Beton dan Pemakaianya .....  | 69 |
| Tabel 5.10. | Berat Jenis Beton untuk Setiap Variasi .....                                   | 70 |
| Tabel 5.11. | Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton .....   | 72 |
| Tabel 5.12. | Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari.....                    | 75 |

## **DAFTAR GAMBAR**

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Gambar 4.1.  | Gelas Ukur 250 cc .....                      | 26 |
| Gambar 4.2.  | <i>Tintometer</i> .....                      | 26 |
| Gambar 4.3.  | <i>Oven</i> .....                            | 26 |
| Gambar 4.4.  | Saringan dan Mesin Pengayak .....            | 27 |
| Gambar 4.5.  | Timbangan Digital .....                      | 27 |
| Gambar 4.6.  | Labu Ukur .....                              | 28 |
| Gambar 4.7.  | Keranjang Kawat .....                        | 28 |
| Gambar 4.8.  | Kerucut SSD dan Penumbuk .....               | 29 |
| Gambar 4.9.  | <i>Los Angeles Abration Machine</i> .....    | 29 |
| Gambar 4.10. | Bola Baja .....                              | 29 |
| Gambar 4.11. | Kerucut <i>Abrams</i> .....                  | 30 |
| Gambar 4.12. | Molen .....                                  | 30 |
| Gambar 4.13. | <i>Caliper</i> .....                         | 31 |
| Gambar 4.14. | <i>Compression Testing Machine</i> .....     | 31 |
| Gambar 4.15. | <i>Universal Testing Machine</i> .....       | 31 |
| Gambar 4.16. | <i>Compressometer</i> .....                  | 32 |
| Gambar 4.17. | Cetakan Silinder .....                       | 32 |
| Gambar 4.18. | Piring Seng .....                            | 33 |
| Gambar 4.19. | Kuas .....                                   | 33 |
| Gambar 4.20. | Ember .....                                  | 33 |
| Gambar 4.21. | Cetok .....                                  | 33 |
| Gambar 4.22. | Palu .....                                   | 33 |
| Gambar 4.23. | Alat Tulis .....                             | 33 |
| Gambar 4.24. | Plastik .....                                | 33 |
| Gambar 4.25. | Kamera .....                                 | 33 |
| Gambar 4.26. | Larutan NaOH 3% .....                        | 34 |
| Gambar 4.27. | Semen <i>PPC Gresik</i> .....                | 34 |
| Gambar 4.28. | Pasir .....                                  | 35 |
| Gambar 4.29. | Batu Pecah/ <i>Split</i> .....               | 35 |
| Gambar 4.30. | <i>Silica Fume</i> .....                     | 35 |
| Gambar 4.31. | Tepung Kuarsa <i>Mesh 200</i> .....          | 36 |
| Gambar 4.32. | <i>Superplasticizer</i> .....                | 36 |
| Gambar 4.33. | <i>Fly Ash</i> .....                         | 36 |
| Gambar 4.34. | Air .....                                    | 37 |
| Gambar 4.35. | Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian .....      | 42 |
| Gambar 5.1.  | Pengujian Nilai <i>Slump</i> .....           | 68 |
| Gambar 5.2.  | Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari .....           | 72 |
| Gambar 5.3.  | Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari .....          | 73 |
| Gambar 5.4.  | Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari .....          | 73 |
| Gambar 5.5.  | Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari ..... | 75 |

## **DAFTAR NOTASI**

|            |  |
|------------|--|
| $f'_c$     | = Kuat tekan beton (MPa)                   |
| $P_{maks}$ | = Beban maksimum benda uji (N)             |
| E          | = Modulus elastisitas beton (MPa)          |
| f          | = Tegangan (MPa)                           |
| $\epsilon$ | = Regangan                                 |
| $P_o$      | = Panjang awal benda uji (mm)              |
| $A_o$      | = Luas tampang benda uji ( $\text{mm}^2$ ) |
| $\Delta P$ | = Perubahan panjang benda uji (mm)         |
| MHB        | = Modulus halus butir                      |

## **DAFTAR PERSAMAAN**

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Persamaan 3-1 | Reaksi Kimia Air-Semen 1 .....                  | 14 |
| Persamaan 3-2 | Reaksi Kimia Air-Semen 2 .....                  | 14 |
| Persamaan 3-3 | Reaksi Kimia Silikat pada <i>Fly Ash</i> .....  | 18 |
| Persamaan 3-4 | Reaksi Kimia Aluminat pada <i>Fly Ash</i> ..... | 18 |
| Persamaan 3-5 | Modulus Elastisitas .....                       | 35 |
| Persamaan 3-6 | Tegangan .....                                  | 35 |
| Persamaan 3-7 | Regangan .....                                  | 35 |
| Persamaan 4-1 | Kandungan Lumpur Pasir .....                    | 44 |
| Persamaan 4-2 | Kadar Air Pasir.....                            | 48 |
| Persamaan 4-3 | Kandungan Lumpur <i>Split</i> .....             | 49 |
| Persamaan 4-4 | Kadar Air <i>Split</i> .....                    | 53 |
| Persamaan 4-5 | Kuat Tekan Beton .....                          | 57 |

## **DAFTAR LAMPIRAN**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Lampiran A. Pemeriksaan Bahan.....</b>                          | <b>82</b>  |
| A.1. Pemeriksaan Gradasi Besar Butiran Pasir..                     | 82         |
| A.2. Pemeriksaan Gradasi Besar Butiran Agregat Kasar .....         | 83         |
| A.3. Pemeriksaan Berat Jenis dan dan Penyerapan Pasir .....        | 84         |
| A.4. Pemeriksaan Berat Jenis dan dan Penyerapan <i>Split</i> ..... | 85         |
| A.5. Pemeriksaan Kadar Air dalam Pasir .....                       | 86         |
| A.6. Pemeriksaan Kadar Air dalam <i>Split</i> .....                | 87         |
| A.7. Pemeriksaan <i>Los Angeles Abration Test</i> .....            | 88         |
| A.8. Pemeriksaan Kandungan Lumpur dalam Pasir.....                 | 89         |
| A.9. Pemeriksaan Kandungan Lumpur dalam <i>Split</i> .....         | 90         |
| A.10. Pemeriksaan Kandungan Zat Organik dalam Pasir.....           | 91         |
| <b>Lampiran B. Pemeriksaan Fly Ash.....</b>                        | <b>92</b>  |
| <b>Lampiran C. Perhitungan Rencana Campuran Adukan Beton.....</b>  | <b>93</b>  |
| <b>Lampiran D. Hasil Uji Kuat Tekan Beton .....</b>                | <b>99</b>  |
| D.1. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari ...                    | 99         |
| D.2. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari .                     | 100        |
| D.3. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari .                     | 101        |
| <b>Lampiran E. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas.....</b>        | <b>103</b> |

## INTISARI

**“PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH PADA KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI DENGAN SILICA FUME, SUPERPLASTICIZER, DAN FILLER PASIR KUARSA”**, Marsianus Danasi, NPM : 090213373, tahun 2014, Bidang Peminatan Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Beton pada umumnya merupakan campuran antara agregat, semen, air, dan bahan-bahan tambah lain. Perbedaan yang sangat nampak antara beton normal dan beton mutu tinggi adalah pada nilai kuat tekan beton. Beton normal memiliki kuat tekan antara 20-40 MPa, sedangkan beton mutu tinggi antara 40-80 MPa. Beton mutu tinggi dapat diperoleh dengan cara mengurangi nilai fas atau dengan kata lain jumlah air dikurangi karena air banyak mengandung udara yang menyebabkan munculnya pori-pori pada beton saat beton mengeras yang mengakibatkan kekuatan menurun. Selain itu juga dengan menambahkan bahan-bahan tambah lain (*additive*) dan juga bahan pengisi untuk mendapatkan beton dengan tingkat kepadatan yang tinggi.

Penelitian ini akan menguji mengenai pengaruh penambahan *fly ash* pada beton mutu tinggi dengan *silica fume*, *superplasticizer*, dan *filler* tepung kuarsa. Kadar *silica fume* dan tepung kuarsa yang ditambahkan sebanyak 10% dari berat semen dan kadar *superplasticizer* yang ditambahkan sebesar 2% dari berat semen. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Sedangkan pengujian modulus elastisitas dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Variasi *fly ash* yang digunakan yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap berat semen.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan *fly ash* membuat beton mutu tinggi meningkat berat jenisnya. Diperoleh nilai kuat tekan rerata pada beton umur 28 hari dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% berturut-turut adalah 37,69 MPa, 75,06 MPa, 64,30 MPa, 60,92 MPa, 58,32 MPa, dan 66,11 MPa. Kuat tekan beton maksimum terjadi pada penambahan *fly ash* sebesar 5% yang meningkatkan kuat tekan sebesar 99,15% dari beton tanpa *fly ash*. Sedangkan nilai modulus elastisitas rerata pada beton umur 28 hari dengan variasi *fly ash* yang sama berturut-turut adalah 32.059,9294 MPa, 36.204,1322 MPa, 35.510,8152 MPa, 34.969,4492 MPa, 33.276,9639, dan 36.893,6286 MPa. Modulus elastisitas tertinggi terjadi pada penambahan *fly ash* 25% yang meningkatkan modulus elastisitas 15,08% dari beton tanpa *fly ash*.

**Kata Kunci:** beton mutu tinggi, metakaolin, *silica fume*, *superplasticizer*, pasir kuarsa, kuat tekan, modulus elastisitas