



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS KETAHANAN BETON GEOPOLIMER  
BERBAHAN ABU TERBANG DAN BERBAHAN  
METAKAOLIN TERHADAP PAPARAN AIR LAUT ASTM**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik**

**Niken Swastika  
0806422965**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Niken Swastika

NPM : 0806422965

Tanda Tangan :

Tanggal :



## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Niken Swastika

NPM : 0806422965

Program studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Tesis : Analisis Ketahan Beton Geopolimer Berbahan Abu Terbang dan  
Berbahan Metakaolin Terhadap Paparan Air Laut ASTM

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada program studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M.Eng (.....)

Pembimbing II : Dr. Ing. Ir Hengki Wibowo Ashadi(.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Jonny Wahyuadi, D.E.A(.....)

Penguji : Dwi Marta Nurjaya, ST. MT. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT. Karena rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik jurusan Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa dengan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr Ir. Sotya Astutiningtyas, M.Eng selaku dosen pembimbing I yang banyak memberi berbagai saran dan motivasi dalam penyusunan tesis ini.
2. Bapak Dr. Ing Ir. Hengki Wibowo Ashadi selaku dosen pembimbing II yang banyak memberi pengetahuan di bidang teknik sipil serta berbagai saran dalam penyusunan tesis ini.
3. Bapak Hamzah Fansuri, Ph.D dan Bapak Lukman Atmaja, Ph.D (Dosen ITS Surabaya), yang telah mengenalkan pada bidang geopolimer dan berbagai pihak yang telah membuka wawasan penulis
4. Seluruh dosen Departemen Metalurgi dan Material FTUI yang memberi banyak pengetahuan dan pencerahan selama waktu perkuliahan.
5. Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Strategis Nasional Tahun 2009
6. Ayah dan Ibu yang selalu mendoakan, memberi dukungan dan motivasi. Juga untuk adikku Hani dan Dillah yang selalu mendukung.
7. PT Adimix yang telah memberikan bantuan bahan berupa agregat.
8. Ibu Lusiana, MT dari P2 Metalurgi LIPI yang telah membantu analisa XRD.
9. Lab Afiliasi yang telah membantu berbagai analisis AAS.
10. Seluruh sahabat S2 teknik metalurgi dan material (Anton, Budi, Dudiet, Gofar, Hafidz, Joko, Khamda, Lusiana, Maksum, Maman, Norman, Tatu, Tulus, Sari), terimakasih telah menjadi sahabat dan banyak membantu Niken.
11. Teman-teman group geopolimer (Dina Nurmala, Kamil Afrizal, Ferdi, dan Paul) yang telah saling berbagi pengetahuan dan banyak membantu penelitian ini.

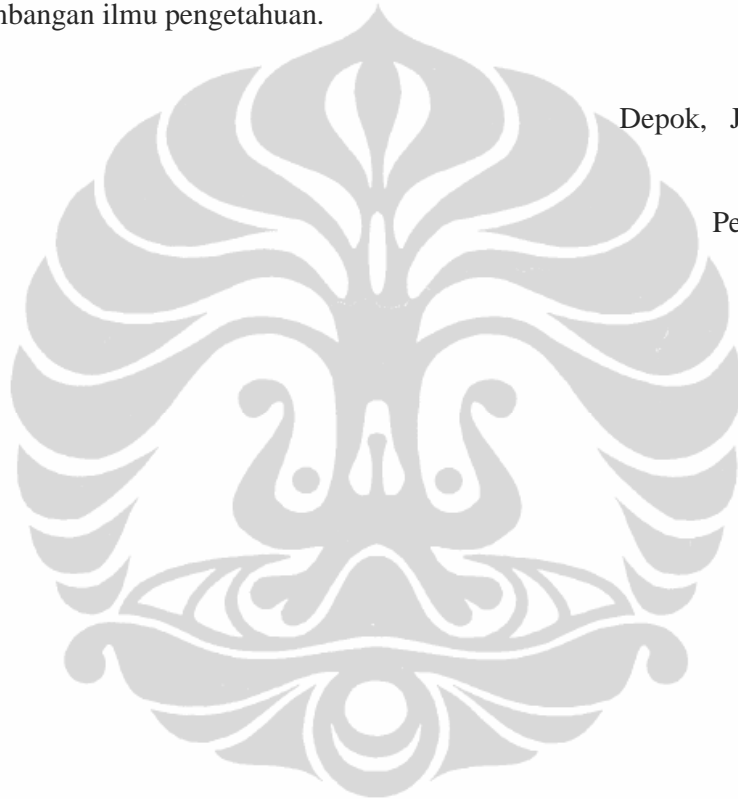
12. Segenap karyawan Departemen Metalurgi dan Karyawan Lab Struktur Departemen Teknik Sipil FTUI yang banyak membantu dan memudahkan penelitian tesis ini.

13. Semua teman-teman yang kukenal yang telah memotivasi untuk menyelesaikan penelitian ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2010

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Niken Swastika  
NPM : 0806422965  
Program Studi : Rekayasa Material  
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Ketahanan Beton Geopolimer Berbahan Abu Terbang dan Metakaolin  
Terhadap Paparan Air Laut ASTM

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.  
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 25 Juni 2010  
Yang menyatakan

(Niken Swastika)

## ABSTRAK

Nama : Niken Swastika  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Ketahanan Beton Geopolimer Berbahan Abu Terbang dan Metakaolin Terhadap Paparan Air Laut ASTM

Geopolimer memiliki peluang pemanfaatan sebagai bahan bangunan yang memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan semen Portland. Penelitian ini menyelidiki dan membandingkan ketahanan beberapa material (beton Portland, geopolimer berbahan abu terbang, dan geopolimer berbahan metakaolin) pada berbagai lingkungan perendaman (kering, aquades, dan air laut ASTM). Kedua prekursor geopolimer, yaitu abu terbang dan metakaolin, masing-masing bersifat amorf (XRD) dan diuji komposisinya (XRF). Parameter ketahanan material dilihat dari perubahan kuat tekan (*compressive strength*) berdasarkan umur perendaman (7, 28, 56, dan 90 hari). Geopolimer abu terbang (GA) menunjukkan kuat tekan awal yang sama seperti beton Portland, kemudian sifat yang stabil selama umur perendaman dalam air laut ASTM. Sedangkan Geopolimer metakaolin (GM) menunjukkan kuat tekan awal yang lebih rendah daripada beton Portland maupun geopolimer abu terbang. Namun kuat tekan geopolimer metakaolin cenderung terus mengalami kenaikan selama waktu perendaman dalam air laut ASTM.

Geopolimer yang direndam dalam aquades dapat melepaskan unsur yang tersisa dari reaksi geopolimerisasi. Geopolimer metakaolin mempunyai rendaman lebih keruh karena reaksi geopolimerisasinya kurang sempurna. Selain itu, geopolimer yang direndam dalam air laut menunjukkan unsur dari beton lebih sedikit larut daripada rendaman aquades. Ditemukan endapan putih pada geopolimer yang direndam air laut, yang kemungkinan besar adalah ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), karena puncak gypsum ditemukan bersama kuarsa pada pola XRD dari geopolimer yang direndam dalam air laut. Secara keseluruhan dapat disimpulkan geopolimer memiliki ketahanan air laut yang lebih unggul daripada beton Portland, geopolimer abu terbang memiliki kuat tekan lebih unggul, dan geopolimer metakaolin menunjukkan ketahanan paling baik.

Kata kunci: ketahanan, geopolimer, abu terbang, metakaolin, air laut ASTM

## ABSTRACT

Name : Niken Swastika  
Study Program: Departement of Metallurgy and Material  
Title : Analysis on Durability of Fly ash based- and Metakaolin based-  
Geopolymer Concretes upon ASTM Seawater

Having superior properties compared to Portland Cement, Geopolymers as building material is beneficial. This research investigates and compares the durability of materials (Portland concrete, fly ash based- and metakaolin based-geopolymer) in dry environment, aquadest and ASTM seawater. Two types of precursor, i.e. fly ash and metakaolin, are used and XRF has been performed to analysed chemical compositions of both precursor. It was found that fly ash based- geopolymer (GA) did not show a decrease in compressive strength during immersion in ASTM seawater. Whereas metakaolin geopolymer showed lower early strength than Portland and fly ash based- geopolymer, even though compressive strength of metakaolin based- geopolymer tend to rise during seawater immersion.

Geopolymer immersed in aquadest released remnant component from geopolymerisation reaction. Metakolin based- geopolymer was muddy because insufficient geopolymerisation reaction. Besides, geopolymer immersed in seawater dissolved less than when immersed in aquadest. White precipitant found in geopolymer immersed in seawater was suspected to be gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), as peaks of gypsum could be identified together with quartz in XRD pattern of geopolymer immersed in seawater. It can be concluded geopolymer has higher seawater durability than Portland concrete and metakaolin based- geopolymer has excellent seawater durability.

Keyword: durability, geopolymer, fly ash, metakaolin, ASTM seawater



## DAFTAR ISI

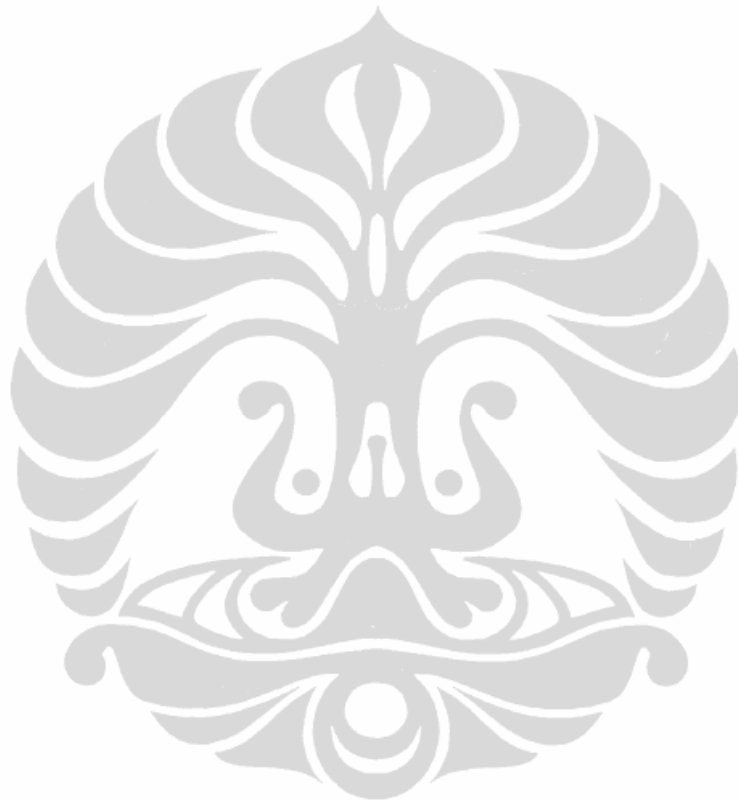
|  |           |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL .....                                      | i         |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                  | ii        |
| KATA PENGANTAR.....                                      | iv        |
| LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....          | vi        |
| ABSTRAK .....  | vii       |
| DAFTAR ISI .....   | ix        |
| DAFTAR GAMBAR .....                                      | xi        |
| DAFTAR TABEL .....                                       | xiii      |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                    | xiv       |
| <b>1. PENDAHULUAN .....</b>                              | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....                                 | 1         |
| 1.2 Tujuan Penelitian .....                              | 3         |
| 1.3 Sasaran dan Ruang Lingkup.....                       | 3         |
| 1.4 Hipotesis.....                                       | 4         |
| <b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                         | <b>5</b>  |
| 2.1. Beton Portland untuk Lingkungan Laut .....          | 5         |
| 2.2. Geopolimer .....                                    | 6         |
| 2.2.1 Pengertian Geopolimer .....                        | 6         |
| 2.2.2 Perbedaan Beton Geopolimer dan Beton Portland..... | 7         |
| 2.2.3 Sifat-sifat Geopolimer.....                        | 8         |
| 2.2.3.1 Sifat Fisik Geopolimer.....                      | 9         |
| 2.2.3.2 Sifat Kimia Geopolimer .....                     | 10        |
| 2.3 Alternatif Prekursor Geopolimer.....                 | 10        |
| 2.3.1 Sifat Bahan Baku Geopolimer .....                  | 10        |
| 2.3.2 Metakaolin .....                                   | 11        |
| 2.3.3 Abu Terbang ( <i>Fly ash</i> ).....                | 11        |
| 2.4 Larutan Alkalin .....                                | 12        |
| 2.4.1 Natrium Hidroksida (NaOH) .....                    | 12        |
| 2.4.2 Natrium Silikat ( <i>Waterglass</i> ) .....        | 12        |
| 2.5 Sintesis Geopolimer .....                            | 13        |
| 2.6 Perkembangan dan Tantangan Produksi Geopolimer ..... | 14        |
| 2.7 Analisa Sifat Mekanik .....                          | 15        |
| 2.7.1 Analisa Kuat Tekan.....                            | 15        |
| 2.7.2 Analisa Atom yang Larut .....                      | 15        |
| 2.8 Analisa Sifat Kimia .....                            | 15        |
| 2.8.1 Spektrofotometri Serapan Atom .....                | 15        |
| 2.8.3. Difraksi Sinar X .....                            | 16        |
| 2.8.4 Analisa XRF.....                                   | 16        |
| <b>3. METODOLOGI.....</b>                                | <b>18</b> |
| 3.1. Standar Pengujian .....                             | 18        |
| 3.2 Alat dan Bahan .....                                 | 18        |
| 3.3 Prosedur Penelitian .....                            | 19        |
| 3.3.1 Persiapan Abu terbang .....                        | 19        |
| 3.3.2 Pembuatan Metakaolin .....                         | 19        |
| 3.3.3 Analisis Bahan baku .....                          | 19        |
| 3.3.4 Penyiapan agregat .....                            | 20        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.5 Pembuatan Beton Portland .....   | 21        |
| 3.3.6 Pembuatan Beton Geopolimer .....   | 22        |
| 3.3.7 Uji Perendaman Air Laut ASTM.....  | 23        |
| 3.3.8 Pengukuran Kuat Tekan .....  | 24        |
| 3.3.9 Analisis atom yang Larut .....   | 25        |
| 3.3.10 Analisis Sifat Kimia .....  | 26        |
| 3.3.10.1 Analisis bahan penyusun geopolimer .....                                    | 26        |
| 3.3.10.2 Difraksi Sinar X .....  | 26        |
| 3.3.11 Diagram alir penelitian .....   | 26        |
| <b>4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>  | <b>28</b> |
| 4.1. Persiapan Pembuatan geopolimer.....   | 28        |
| 4.2. Komposisi Kimia Bahan Baku (Abu terbang, Metakaolin, dan Natrium Silikat) ..... | 28        |
| 4.2.1 Komposisi Abu Terbang .....  | 29        |
| 4.2.2 Komposisi Metakaolin .....   | 31        |
| 4.2.3 Komposisi Natrium Silikat .....  | 33        |
| 4.3. Pembuatan Geopolimer .....  | 34        |
| 4.4. Perbedaan Sifat Geopolimer Abu Terbang dan Geopolimer Metakaolin .....          | 38        |
| 4.4.1 Perbedaan visual permukaan beton .....   | 38        |
| 4.4.2 Perubahan Kuat Tekan Selama Perendaman .....                                   | 41        |
| 4.4.3 Komponen yang larut dalam larutan perendam .....                               | 45        |
| 4.4.4 Analisis XRD .....   | 47        |
| 4.5 Analisis Faktor yang Mempengaruhi Ketahanan Geopolimer .....                     | 49        |
| 4.6 Perbandingan Harga.....  | 50        |
| <b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>52</b> |
| <b>DAFTAR REFERENSI .....</b>  | <b>54</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|        |      |   |    |
|--------|------|---|----|
| Gambar | 2.1  | Ikatan yang Terjadi dalam Geopolimer (Davidovits, 2008).....  | 6  |
| Gambar | 2.2  | Skema Reaksi yang Terlibat dalam Geopolimerisasi<br>(Van Deventer, 2006) .....  | 13 |
| Gambar | 3.1  | Gambar 3.1 Oven Kontinu OSTEK RSK 2506.....   | 19 |
| Gambar | 3.2  | Agregat berupa pasir silika dan kerikil.....  | 20 |
| Gambar | 3.3  | Campuran Bahan Kering Sebelum Diberi Larutan Alkalin<br>Untuk Geopolimer Abu Terbang (kiri) dan Geopolimer<br>Metakaolin (kanan).....         | 21 |
| Gambar | 3.4  | Beton basah yang dimasukkan dalam cetakan dan digetarkan...   | 21 |
| Gambar | 3.5  | Beberapa Bahan Kimia p.a Untuk Air Laut ASTM .....  | 23 |
| Gambar | 3.6  | Wadah Penyimpanan Perendam.....   | 24 |
| Gambar | 3.7  | Mesin Penguji Kuat Tekan .....  | 25 |
| Gambar | 3.8  | Visual Alat Spektroskopi Serapan Atom (AAS) .....   | 25 |
| Gambar | 3.9  | Diagram Alir Penelitian .....   | 27 |
| Gambar | 4.1  | Visual Bahan Penyusun Geopolimer (Metakaolin, Abu<br>Terbang, Natrium Silikat, dan NaOH) .....  | 41 |
| Gambar | 4.2  | Pola Difraksi XRD Abu Terbang Suralaya Menunjukkan Sifat<br>Amorf (Laporan Hibah Bersaing 2009).....  | 31 |
| Gambar | 4.3  | Analisis Termogravimetri (TGA) Dari Kaolin (Laporan Hibah<br>Bersaing 2009) .....   | 32 |
| Gambar | 4.4  | Pola Difraksi Sinar X Dari Kaolin (Laporan Hibah Bersaing<br>2009) .....  | 33 |
| Gambar | 4.5  | Pola Difraksi Sinar X Dari Kaolin Yang Dikalsinasi (Laporan<br>Hibah Bersaing 2009) .....   | 33 |
| Gambar | 4.6  | Visual Beton Geopolimer Abu Terbang Berwarna Abu-Abu<br>Gelap (Kiri) Dan Metakaolin Berwarna Putih (Kanan) .....                              | 35 |
| Gambar | 4.7  | Permukaan Patahan Geopolimer Abu Terbang (Kiri) Dan<br>Geopolimer Metakaolin (Kanan) .....  | 36 |
| Gambar | 4.8  | Ikatan Al Dan Si Pada Geopolimer.....   | 37 |
| Gambar | 4.9  | Perbedaan Visual Pecahan Geopolimer Abu Terbang: Kondisi<br>Kering (Kiri), Hasil Rendaman Aquades (Tengah), Dan Air<br>Laut ASTM (Kanan)..... | 39 |
| Gambar | 4.10 | Visual Permukaan Geopolimer Abu Terbang Yang Telah<br>Direndam Dalam Air Laut ASTM Selama 90 Hari.....  | 39 |
| Gambar | 4.11 | Permukaan Geopolimer Metakaolin Kering (Kiri) Dan<br>Aquades (Kanan) Tidak Menunjukkan Perubahan Warna .....                                  | 40 |
| Gambar | 4.12 | Visual Permukaan Geopolimer Metakaolin Dan Terdapat<br>Endapan Putih Yang Melekat .....   | 40 |
| Gambar | 4.13 | Kuat Tekan Geopolimer Abu Terbang Setelah Direndam Air<br>Laut ASTM Dibandingkan Rendaman Aquades Dan Kondisi<br>Kering .....                 | 42 |
| Gambar | 4.14 | Kuat Tekan Beton OPC Setelah Direndam Air Laut ASTM<br>Dibandingkan Rendaman Aquades Dan Kondisi Kering .....                                 | 42 |
| Gambar | 4.15 | Kuat Tekan Geopolimer Metakaolin Setelah Perendaman.....  | 43 |
| Gambar | 4.16 | Perubahan Kuat Tekan Setelah direndam air laut ASTM untuk<br>geopolimer abu terbang(GA), metakaolin (GM) dan beton<br>Portland (PC).....      | 45 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.17 | Perbandingan Hasil Rendaman Geopolimer Abu Terbang dan Geopolimer Metakaolin .....                               |    |
| Gambar 4.18 | Pola Difraksi Geopolimer Abu Terbang Setelah Perendaman Air Laut (Atas) Dibandingkan Dengan Kering (Bawah) ..... | 45 |
| Gambar 4.19 | Pola Difraksi Geopolimer Metakaolin Setelah Perendaman Air Laut (Atas) Dibandingkan Dengan Kering (Bawah).....   | 45 |



## DAFTAR TABEL

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabel 3.1  | Bahan air laut ASTM D 1141-90 .....                              | 32 |
| Tabel 4.1  | Jumlah Sampel Kubus yang Diperlukan.....                         | 28 |
| Tabel 4.2  | Komposisi Kimia Abu Terbang dibanding Kaolin (Hasil XRF)....     | 30 |
| Tabel 4.3  | Komposisi Kimia dari Na Silikat (Hasil Analisis AAS).....        | 34 |
| Tabel 4.4  | Komposisi Rasio Molar Geopolimer Abu Terbang dan Metakaolin..... | 36 |
| Tabel 4.5  | Kuat Tekan Geopolimer Abu Terbang Dibandingkan Beton PC...41     |    |
| Tabel 4.6  | Kuat Tekan Geopolimer Metakaolin .....                           | 44 |
| Tabel 4.7  | Unsur yang Terlarut pada Rendaman Geopolimer .....               | 46 |
| Tabel 4.8  | Perhitungan Harga Beton Portland .....                           | 50 |
| Tabel 4.9  | Perhitungan Harga Beton Geopolimer abu terbang .....             | 51 |
| Tabel 4.10 | Perhitungan Harga Beton Geopolimer abu terbang .....             | 51 |



## DAFTAR LAMPIRAN

|          |    |   |    |
|----------|----|---|----|
| Lampiran | 1  | Rancang Campur Beton Portland.....                      | 57 |
| Lampiran | 2  | Kuat Tekan.....   | 59 |
| Lampiran | 3  | Analisis AAS Larutan Rendaman.....                      | 63 |
| Lampiran | 4  | Analisis AAS Natrium silikat.....                       | 66 |
| Lampiran | 5  | Kadar air dari Natrum silikat.....                      | 67 |
| Lampiran | 6  | Analisis XRD Geopolimer Abu Terbang Kering (GA-K).....  | 69 |
| Lampiran | 7  | Analisis XRD Geopolimer Abu Terbang –Air Laut (GA-L)... | 73 |
| Lampiran | 8  | Analisis XRD Geopolimer Metakaolin-Kering (GM-K).....   | 76 |
| Lampiran | 9  | Analisis XRD Geopolimer Metakaolin-Air Laut (GM-L)..... | 79 |
| Lampiran | 10 | Analisis AAS Larutan Rendaman untuk Fe.....             | 84 |

