

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 PENGUJIAN MATERIAL

3.1.1 Agregat

Penelitian ini memperbandingkan antara limbah beton semen dan agregat bukan limbah sebagai material agregat. Limbah beton semen yang digunakan diperoleh dari limbah beton pada Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Sipil FTUI. Limbah beton merupakan sisa – sisa material beton yang hancur setelah dites kuat tekan. Salah satu dari dua jenis agregat tersebut yang lebih kuat akan digunakan dalam sampel balok.

Limbah beton yang ada belum memiliki bentuk yang seragam serupa dengan agregat. Untuk menjadikan limbah beton menjadi agregat siap pakai, maka hal pertama yang harus dilakukan adalah menumbuk limbah beton tersebut menjadi agregat dengan ukuran yang diinginkan.

Setelah dilakukan penumbukan (*crushing*), maka dilakukan penyaringan untuk 2 jenis agregat. Agregat yang lolos saringan No. 4 menjadi agregat halus, dan sisanya adalah agregat kasar.

Agregat yang dihasilkan melalui limbah beton semen ini tidak lagi perlu diuji karakteristik materialnya, baik untuk uji *specific gravity*, *absorption*, maupun *sieve analysis*. Dalam hal kebutuhan akan data perhitungan *mix design* beton, metode yang digunakan adalah metode pendekatan sesuai dengan karakteristik agregat normal pada komposisi beton semen konvensional. Penelitian ini menggunakan data uji laboratorium agregat mineral murni (kasar maupun halus) dengan kualitas *well-graded aggregate*, untuk mengetahui nilai *specific gravity*, *absorption*, dan *fine modulus* yang dibutuhkan dalam perhitungan campuran beton.

3.1.2 Geopolimer

Bahan geopolimer dalam penelitian ini menggunakan *fly ash* sebagai prekursor dan campuran larutan natrium hidroksida [NaOH] dan natrium silikat [Na₂Si₃] sebagai *alkali activator*. *Fly ash* yang digunakan di dalam penelitian ini merupakan *fly ash* hasil limbah buangan pembakaran batu bara pada PLTU Suralaya. Sedangkan larutan natrium silikat, atau biasa disebut *waterglass*, dan senyawa NaOH, didapatkan dengan membeli di toko kimia.

Pengujian material geopolimer yang perlu dilakukan adalah hanya untuk bahan prekursor, untuk mengetahui komposisi kandungan unsur – unsur di dalamnya, karena material *fly ash* di beberapa tempat pembangkit listrik mempunyai komposisi yang berbeda.

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik *fly ash* adalah uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Pengujian XRF berfungsi untuk mengetahui persentase komposisi unsur – unsur yang terkandung dalam *fly ash*, dimana diharapkan sebagian besar unsur penyusun dari *fly ash* adalah unsur alumina dan silika. Sedangkan pengujian XRD dilakukan untuk mencari sifat struktur dari *fly ash*.

Pengujian XRF dan XRD akan dilakukan pada Laboratorium Fisika Fakultas MIPA Universitas Indonesia.

3.2 PERHITUNGAN CAMPURAN BETON

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan desain beton geopolimer sesuai dengan beton semen konvensional. Hal ini berarti kedua jenis beton tersebut didesain dengan kuat tekan rencana yang sama menurut standar perhitungan beton konvensional. Karena sampai saat ini belum terdapat standar mengenai desain campuran (*mix design*) beton geopolimer, maka untuk mencapai target kuat tekan beton geopolimer tertentu, peran pasta semen pada beton semen diganti dengan pasta geopolimer. Begitupun dengan komposisi agregat murni sesuai dengan uji karakteristiknya, menjadi referensi komposisi agregat limbah beton dalam penelitian ini. Sehingga dibutuhkan pengujian terhadap beton semen dengan target kuat tekan yang sama, sebagai data pembandingan terhadap beton geopolimer.

3.2.1 Perhitungan Campuran Komposisi Material

Tahap pertama dalam menentukan campuran beton geopolimer adalah mencari komposisi yang tepat dari material geopolimer itu sendiri. Untuk mendapatkan komposisi yang tepat, penulis membuat sampel material geopolimer berukuran kecil dengan perhitungan desain campuran melalui metode *trial and error*. Metode *trial and error* dilakukan dengan memvariasikan komposisi prekursor dengan aktivator alkali untuk mencari komposisi yang paling optimal.

M. Fajar Hermansyah (2007) memperoleh komposisi pasta geopolimer berbahan dasar *fly ash* dari PLTU Suralaya dengan hasil kuat tekan paling optimal sebesar 45.1 MPa. Dari komposisi tersebut, terlihat rasio *fly ash* : air = 4.44 : 1. Komposisi tersebut diperoleh berdasarkan perhitungan kimia yang didasarkan pada hasil pengujian XRD, XRF, dan kadar kimia Na_2SiO_3 . Dikarenakan bahan material yang digunakan dalam penelitian kali ini relatif sama dengan penelitian yang dilakukan M. Fajar Hermansyah, maka komposisi tersebut merupakan salah satu referensi utama dalam penelitian ini. Tetapi pada saat melakukan penelitian, penulis tetap akan melakukan metode *trial and error*, terlebih dalam variasi rasio H_2O , untuk mendapatkan hasil paling optimal sesuai dengan kondisi lapangan saat melakukan produksi benda uji.

Detail perbandingan komposisi tiap material dan bahan kimia yang digunakan merupakan hak kekayaan intelektual peneliti, sehingga tidak ditampilkan dalam laporan skripsi ini.

3.2.2 Perhitungan Kebutuhan Material Benda Uji

Desain komposisi beton geopolimer selanjutnya adalah desain campuran material geopolimer dengan agregat (komposisi matriks-inklusi). Pada penelitian ini akan dibandingkan kekuatan beton geopolimer dengan beton semen dimana kedua beton tersebut memiliki perbandingan matriks-inklusi yang sama.

Beton geopolimer dan beton konvensional pada penelitian ini didesain dengan target kuat rencana K400 atau setaraf dengan kuat tekan $f_c' = 40$ MPa. Perhitungan campuran beton geopolimer didesain sesuai dengan perhitungan *mix design* beton konvensional, menggunakan metode US Bureau, dengan mengganti

jumlah pasta semen yang dibutuhkan menjadi pasta geopolimer, dan mengganti proporsi *well-graded aggregate* dengan agregat limbah beton semen.

Hal selanjutnya yang harus dilakukan adalah menghitung jumlah benda uji yang dibutuhkan, agar dapat memperkirakan jumlah kebutuhan material dan besar biaya yang dikeluarkan.

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan terhadap beberapa penelitian sebelumnya di Departemen Sipil FTUI mengenai properti material beton geopolimer. Pengujian yang akan dilakukan di dalam penelitian ini adalah sengujian akselerasi balok beton akibat diberikan beban dinamik. Pengujian dilakukan terhadap balok beton geopolimer bertulang.

Sebelum mencapai tahap pengujian akselerasi pada balok, terlebih dahulu akan dibuat sampel beton untuk 2 jenis beton, yaitu beton geopolimer dan beton geopolimer dengan berbahan dasar agregat limbah, untuk ditelaah karakteristik materialnya dengan tes kuat tekan dan kuat tarik. Hal ini dilakukan untuk membuktikan hasil penelitian – penelitian sebelumnya.

3.2.2.1 Tes Kuat Tekan

Tes kuat tekan beton dilakukan ketika beton telah mengeras. Karena waktu yang dibutuhkan untuk beton mengeras pada beton geopolimer dan beton konvensional berbeda, maka pengujian kuat tekan akan dilakukan pada waktu hari ke-2 setelah pembukaan cetakan, sedangkan pembukaan cetakan dibutuhkan waktu 24 jam dari selesai mix design. Untuk masing – masing pengujian kuat tekan dibuat 3 sampel untuk setiap jenis material.

Tes kuat tekan menggunakan benda uji kubus kecil $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$ yang berisi hanya pastanya saja dengan variasi jumlah kandungan pasta semen dalam pasta geopolimer, kubus $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$, dan silinder tinggi x diameter : 300 mm x 150 mm, sesuai dengan ASTM Designation: C 39 – 94 tahun 1996 untuk pengetesan terhadap material beton.

Tabel 3.1 Rencana Kebutuhan Benda Uji Tes Kuat Tekan

Hari Pengujian	Dimensi Benda Uji (mm)	Jumlah Benda Uji (buah)		Jumlah (buah)
		Beton Geopolimer	Beton Geopolimer Limbah	
3	Kubus besar	3	3	6
3	Silinder	3	3	6
Total Kebutuhan Benda Uji				6

3.2.2.2 Tes Kuat Tarik

Tes kuat tarik dilakukan di cetakan angka 8 pada saat beton telah mengeras. Tes kuat tarik dilakukan hanya pada pasta geopolimer untuk membuktikan hipotesa awal bahwa kuat tarik beton geopolimer adalah dua kali lipat kuat tekannya¹⁰⁾.

Tabel 3.2 Rencana Kebutuhan Benda Uji Tes Kuat Tarik

Hari Pengujian	Dimensi Benda Uji	Jumlah Benda Uji (Buah)
Beton Mengeras	Cetakan Angka 8	6
Total Kebutuhan Benda Uji		6

3.2.2.3 Uji Akselerometer

Uji dengan menggunakan akselerometer dilakukan pada sampel balok beton, menggunakan alat Pile Integrity Test (PIT) untuk uji akselerometer. Sampel balok beton yang diuji berukuran 200 x 300 x 15000 mm³.

Analisa awal kekuatan tarik beton geopolimer dua kali lipat beton konvensional, maka akan ditinjau pengaruh *reinforcement* tulangan baja pada struktur beton geopolimer yang diakibatkan sifat kekakuan dari struktur tersebut. Selain itu, reaksi kimia antara unsur – unsur alumina dan silica akan memberikan reaksi korosif pada tulangan besi baja. Hal itu pulalah yang akan diamati pada ketiga jenis struktur balok beton di atas. Kebutuhan benda uji adalah 1 sampel balok beton geopolimer dengan tulangan berukuran 200 x 300 x 15000 mm³.

3.3 METODOLOGI PEMBUATAN BENDA UJI

3.3.1 Pembuatan Campuran Beton

3.3.1.1 Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap penunjang di awal proses produksi. Hal-hal yang termasuk di dalamnya diantaranya :

1) Persiapan Peralatan

- a) *Concrete mixer*, dengan volume *concrete mixer* yang akan dipakai adalah $\pm 1 \text{ m}^3$.
- b) Bekisting, sesuai dengan ukuran benda uji yang telah disebutkan di atas. Sebelum pencetakan, dinding – dinding bekisting diberi pelumas agar mempermudah pembukaan bekisting. Khusus untuk pencetakan beton geopolimer, dinding bekisting harus dilapisi plastik agar tidak korosif terhadap bekisting besi, memudahkan pembukaan bekisting, menjaga agar kandungan air tidak menguap saat di oven.
- c) 1 set peralatan *slump test*.
- d) Sendok semen, wadah (baskom), dan peralatan penunjang lainnya.
- e) *Oven*, untuk *curing* beton geopolimer.

2) Persiapan Bahan

a) Prekursor

Bahan prekursor yang digunakan adalah abu terbang (*fly ash*) yang berasal dari PLTU Suralaya. Sebelum digunakan untuk produksi, *fly ash* terlebih dahulu digiling untuk mendapatkan luas permukaan yang besar. Setelah digiling, *fly ash* disaring dengan menggunakan saringan No. 200. Hal ini bertujuan agar reaksi polimerisasi dapat berlangsung dengan baik.

b) Aktivator alkali

Aktivator yang digunakan pada percobaan ini adalah campuran natrium silikat dengan natrium hidroksida. Natrium hidroksida yang berbentuk padatan kristal kecil dilarutkan dalam natrium silikat yang berbentuk cairan. Komposisi natrium hidroksida dan natrium silikat pada saat pencampuran dihitung agar didapatkan komposisi larutan dengan molaritas tertentu. Hal ini berpengaruh dalam reaksi polimerisasi yang akan terjadi.

c] Agregat

Agregat mineral yang digunakan berupa agregat kasar dan agregat halus dari hasil penyaringan limbah sisa beton semen dan agregat *non*-limbah.

d] Air

Air yang digunakan harus memenuhi syarat untuk bahan beton pada umumnya, yaitu air dengan kualitas air minum.

3.3.1.2 Pembuatan Campuran Beton (*Mixing*) & Uji Slump Beton

Proses pencampuran dilakukan setelah melakukan proses desain, dimana komposisi berat tiap bahan beton telah ditentukan sesuai dengan kriteria yang diinginkan menurut standart desain beton konvensional. Proses pencampuran meliputi rangkaian kegiatan berikut ini :

- 1) Mencampur agregat kasar dan agregat halus dalam keadaan kering. Masukkan hasil pencampuran ke dalam *concrete mixer*.
- 2) Membuat larutan aktivator alkali dalam wadah. Setelah terjadi reaksi dalam larutan (ditandai dengan kenaikan suhu), masukkan *fly ash* dan air ke dalam larutan kemudian aduk merata, sehingga setiap butiran *fly ash* bersentuhan dengan larutan. Bahan ini merupakan material geopolimer yang berfungsi sebagai matriks (mortar).
- 3) Masukkan mortar dan air ke dalam *concrete mixer* dan aduk sampai mendapatkan kondisi homogen.
- 4) Melakukan tes slump untuk mengetahui besar slump yang didapat.

3.3.1.3 Pencetakan (*Moulding*)

Metode pencetakan berperan dalam menentukan kepadatan dan homogenitas beton pada saat keras, serta besar pori yang timbul. Proses pencetakan meliputi rangkaian kegiatan berikut ini:

- 1) Pastikan dinding-dinding bekisting telah diberi pelumas (plastik untuk bekisting beton geopolimer), dan bekisting telah bersih dari segala macam benda asing.
- 2) Beton segar yang telah tercampur dengan baik dimasukkan ke dalam bekisting. Proses pencetakan dibagi menjadi tiga lapisan, tiap lapisan dipadatkan dengan menggunakan batang besi sebanyak 25 kali tusukan.

Pada bekisting lentur, banyak tusukan yang diberikan ditentukan sampai kondisi beton terlihat padat.

- 3) Setelah bekisting terisi penuh, tutup permukaan beton segar dengan plastik film (untuk beton geopolimer). Film yang digunakan dapat berupa bahan plastik termoset yang tahan panas 100° - 120° C. Hal ini bertujuan untuk menjaga terlepasnya air melalui proses penguapan. Penguapan air yang berlebihan akan mengganggu proses polimerisasi serta menyebabkan *thermal shrinkage*.

3.3.1.4 Proses Pengerasan (*Hardening*)

Berbeda dengan material semen yang menghasilkan panas hidrasi tinggi, material geopolimer membutuhkan energi aktivasi tambahan untuk mempercepat proses polimerisasi. Hal ini disebabkan karena panas yang dihasilkan kurang tinggi. Agar proses perkerasan berlangsung cepat, benda uji yang telah dicetak dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $\pm 80^{\circ}$ C selama ± 24 jam sampai mengeras, dimana beton yang telah mengeras diindikasikan dengan kondisi pada saat pelepasan bekisting beton tidak mengalami keruntuhan.

3.3.1.5 Perawatan (*Curing*)

Proses perawatan beton geopolimer berbeda dengan beton semen, yaitu setelah keluar dari oven, sampel uji dibiarkan pada suhu kamar sekitar 1 hingga 2 hari.

3.3.2 Pengujian

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan pada sampel kubus dan silinder, pengujian tarik pada sampel cetakan angka 8, dan pengujian akselerasi pada sampel balok untuk menganalisa sifat kekakuan dan koefisien redaman pada balok tersebut.

3.3.2.1 Pengujian Sampel Tekan

Tes ini didasarkan pada ASTM Designation: C 39 – 94 tahun 1996 (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*). Seperti telah dibahas di atas, pada pengujian kuat tekan digunakan sampel kubus, oleh karena itu agar mengikuti standar pengujian ASTM akan dilakukan pengkonversian benda uji kubus ke dalam silinder. Hasil yang

diperoleh dalam pengujian ini adalah kuat tekan optimal dari material beton geopolimer.

3.3.2.2 Pengujian Sampel Tarik

Tes ini menggunakan cetakan angka delapan, kemudian cetakan ditarik dengan mesin *direct tension*. Nilai kuat tarik diperoleh hingga sampel beton angka delapan putus.

3.4 METODOLOGI PENGUJIAN DENGAN AKSELEROMETER

3.4.1 Akselerometer

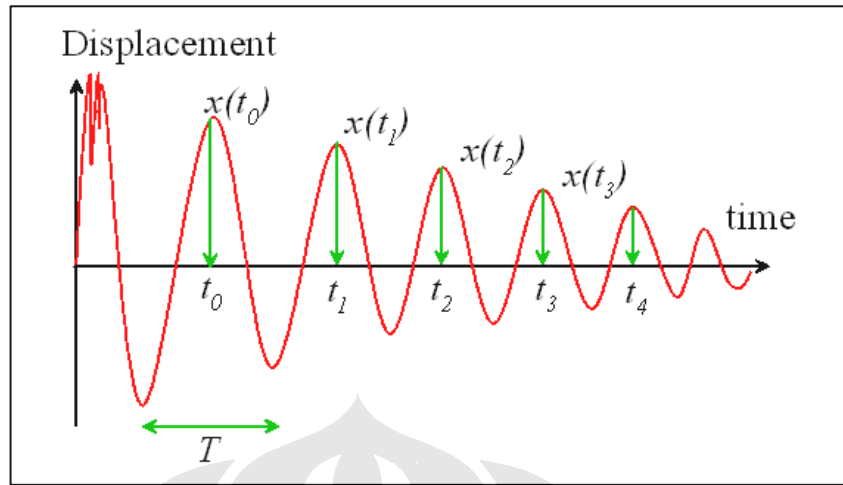
Dalam penelitian ini akan dihitung *natural frequency* dan *damping coefficient* untuk suatu struktur, hal ini bermanfaat untuk meyakinkan bahwa desain struktur tersebut benar. Kita bisa menggunakan respon getaran bebas untuk hal ini.

Dalam penelitian ini digunakan balok beton yang terdapat akselerometer yang dihubungkan dengan alat *Pile Integrity Test-Collector* yang dapat digunakan untuk mengakuisisi data. Selanjutnya, hasil yang didapat ditransformasikan ke program *Microsoft Excel* sebagai sumber data pada program *Matlab*.

Langkah awal adalah kita merakit alat-alat kita, dengan memasang akselerometer pada titik yang diinginkan. Lalu, dengan menggunakan palu (*hammer*) kita membuat *impuls* untuk membangkitkan atau membuat vibrasi. Dengan menggunakan pembacaan pada akselerometer kita bisa melakukan integrasi 2 kali dengan menggunakan program *Matlab* untuk mendapatkan *displacement* pada struktur yang ditinjau.

Selain dengan *displacement* hasil pada akselerasi dapat digunakan sebagai pembacaan nilai kekakuan juga, namun pembacaan pada *displacement* lebih mudah dilakukan.

Proses setelah mendapatkan *displacement* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 *Displacement vs Waktu*⁹⁾

1. Periode dari osilasi.

Pertama kita meninjau 2 titik puncak dari osilasi *Displacement vs Waktu*. Untuk mendapatkan periode getar (T) yaitu dengan mengetahui selisih waktu antara 2 titik puncak.

$$T = \frac{t_n - t_0}{n} \dots\dots\dots (3.1)$$

2. *The Logarithmic Decrement.*

Langkah kedua dengan memperbandingkan nilai *displacement* dari titik-titik yang ditinjau.

$$\delta = \log\left(\frac{x(t_n)}{x(t_{n+1})}\right) \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana $x(t_n)$ adalah *displacement* saat puncak ke n . Prinsipnya kita harus mengambil 2 titik puncak dan menghitung δ . Dan kita harus mendapat hasil yang sama untuk segala titik puncak yang dipilih. Atau bisa juga dengan menggunakan rumus berikut :

$$\delta = \frac{1}{n} \log\left(\frac{x(t_0)}{x(t_n)}\right) \dots\dots\dots (3.3)$$

Lalu kita bisa mendapatkan nilai untuk frekuensi alami (ω_n) dan rasio redaman (ζ) dari periode (T) dan *logarithmic decrement* (δ) pada benda uji :

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\omega_n = \frac{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}}{T} \dots\dots\dots (3.5)$$

3. Stiffness/Kekakuan.

Dalam mendapatkan kekakuan dari suatu benda uji, kita bisa menggunakan cara hasil *logarithmic decrement* pada *displacement* seperti diatas atau dengan pada akselerasi dengan mengetahui frekuensi alami (ω_n) lalu didapatkan kekakuan (k) seperti pada persamaan (3.6). Selain itu apabila kita mengetahui besarnya gaya (F) yang digunakan untuk membangkitkan vibrasi dan mengetahui *displacement* (u) yang diakibatkan impuls tersebut bisa didapatkan nilai kekakuan (k) menggunakan rumus (3.7).

$$k = \omega_n^2 . m \dots\dots\dots (3.6)$$

$$k = \frac{F}{u} \dots\dots\dots (3.7)$$