

SKRIPSI

**KELAYAKAN ABU TERBANG PLTU BUNTOI SEBAGAI
CAMPURAN BETON GEOPOLIMER**

oleh
DADANG SURIYANA
NIM. DAB 114 060



**JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
PALANGKA RAYA
2021**

SKRIPSI

KELAYAKAN ABU TERBANG PLTU BUNTOI SEBAGAI BAHAN CAMPURAN BETON GEOPOLIMER

oleh

DADANG SURIYANA
NIM. DAB 114 060

Disetujui untuk diajukan dalam Ujian Skripsi

Palangka Raya, Maret 2021

Ketua Penguji/Penguji 1

LILIANA, S.T., M.T.
NIP. 19700221 199403 2 001

Sekretaris/Penguji 2

OKTA MEILAWATY, S.T., M.T.
NIP. 19770505 200501 2 022

Mengetahui:

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
Ketua,

Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003

PRAKATA

Puji bagi Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan untuk diseminarkan dan ditinjau kembali untuk diperbaiki.

Skripsi dengan judul “Kelayakan Abu Terbang PLTU Buntoi Sebagai Campuran BEton Geopolimer” disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Pada kesempatan ini tidak lupa diucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Dr. Sutan P. Silitonga, S.TP., S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum & Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Tatau Wijaya Garib, S.T.,M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.

6. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Ibu Liliana, S.T., M.T. selaku Dosen Ketua Penguji/Penguji 1 Skripsi.
8. Ibu Okta Meilawaty, ST., M.T. selaku Dosen Sekretaris/Penguji 2 Skripsi.
9. Bapak Ir. Maryanto, M.T. selaku Dosen Penguji 3 Skripsi.
10. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 4 Skripsi.
11. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan menyadari akan segala kekurangan dalam penyajian Skripsi ini diharapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang sifatnya membangun demi perbaikan dimasa yang akan datang. Terima Kasih.

Palangka Raya, Maret 2021

DADANG SURIYANA
NIM. DAB 114 060

RINGKASAN

KELAYAKAN ABU TERBANG PLTU BUNTOI SEBAGAI BAHAN CAMPURAN BETON GEOPOLIMER, Dadang Suriyana, 2021, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Semen berasal dari bahasa latin *caementum* yang berarti bahan perekat yang dapat mengikat material berupa batu bata dan batu koral sehingga menjadi sebuah bangunan. Semen adalah bagian penting dalam pembuatan beton yang berfungsi sebagai *binder*. Pada saat ini telah banyak yang mengembangkan beton geopolimer, yaitu beton yang 100% tanpa semen dalam beton. Geopolimer dapat diartikan sebagai material yang terbentuk melalui polimerisasi silika, alumunium, dan oksigen menjadi struktur *amorphous* 3 dimensi. Disebut geopolimer karena merupakan hasil dari bahan-bahan alam nonorganik lewat proses polimerisasi. Bahan dasar utama yang dibutuhkan untuk pembuatan material geopolimer ini adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silika dan alumunium.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *trial mix* dengan skala laboratorium melalui pengujian tahap 1 dan tahap 2. Pengujian tahap 1 dilakukan untuk mengetahui komposisi campuran pasta geopolimer dengan kuat tekan maksimum yang menggunakan perbandingan NaOH terhadap Na₂SiO₃ sebesar 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5. Pengujian tahap 2 dilakukan dengan menggunakan komposisi campuran pasta geopolimer dengan kuat tekan yang paling tinggi yaitu pada perbandingan NaOH terhadap Na₂SiO₃ sebesar 2,5 dengan kuat tekan 22,56 MPa.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer diperoleh kuat tekan pada umur 3 hari sebesar 6,95 MPa, pada umur 7 hari sebesar 7,01 MPa, pada umur 14 hari sebesar 7,14 MPa, pada umur 28 hari sebesar 7,64 MPa. Hasil kuat tekan beton geopolimer jauh lebih rendah dibandingkan dengan kuat tekan pasta geopolimer, hal itu menunjukkan bahwa pasta tidak terlalu mengikat dengan agregat sehingga kuat tekan yang dihasilkan rendah. Hal itu dibuktikan dengan hasil kuat tekan beton konvensional yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan beton geopolimer yang menggunakan agregat yang sama. Dengan hasil kuat tekan pada umur 3 hari sebesar 16,52 MPa, pada umur 7 hari sebesar 19,66 MPa, pada umur 14 hari sebesar 28,92 MPa, pada umur 28 hari sebesar 29,51 MPa.

Kata Kunci: Beton Geopolimer, Geopolimer, NaOH, Na₂SiO₃

SUMMARY

FEASIBILITY OF PLTU BUNTOI FLY ASH A MIXTURE OF GEOPOLYMER CONCRETE, Dadang Suriyana, 2021, Department / Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Palangka Raya University.

Cement comes from the latin caementum which means an adhesive that can bind material in the form of bricks and coral so that it becomes a building. Cement is an important part in making concrete that functions as a binder. At this time many people have developed geopolymer concrete, which is 100% concrete without cement in concrete. Geopolymers can be interpreted as materials formed through polymerization of silica, alumina, and oxygen into 3 dimensional amorphous structures. Called a geopolymer because it is the result of nonorganic natural materials through the polymerization process. The main basic materials needed for the manufacture of geopolymer materials are materials that contain many silica and alumina elements.

The method used in this study uses a trial mix with a laboratory scale through testing stage 1 and stage 2. Testing phase 1 is carried out to determine the composition of the geopolymer paste mixture with maximum compressive strength using a ratio of NaOH to Na₂SiO₃ of 1; 1,5; 2; 2.5. Phase 2 testing was carried out using a composition of a mixture of geopolymer paste with the highest compressive strength, namely the ratio of NaOH to Na₂SiO₃ of 2.5 with compressive strength of 22.56 MPa.

Based on the compressive strength test results of geopolymer concrete, compressive strength obtained at 3 days of 6.95 MPa, at 7 days at 7.01 MPa, at 14 days at 7.14 MPa, at 28 days at 7.64 MPa. The yield of compressive strength of geopolymer concrete is much lower than the compressive strength of geopolymer paste, it shows that the paste is not too active with aggregate so that the compressive strength produced is low. This is evidenced by the compressive strength results of conventional concrete which is much higher compared to geopolymer concrete using the same aggregate. With the results of compressive strength at 3 days of 16.52 MPa, at 7 days of 19.66 MPa, at 14 days of 28.92 MPa, at 28 days of 29.51 MPa.

Keywords: Geopolymer Concrete, Geopolymer, NaOH, Na₂SiO₃

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	iii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Lokasi Penelitian	6
1.7. Lokasi Pengambilan Material	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Semen	8
2.2. Agregat	10
2.3. Air	10
2.4. Beton	11
2.5. Geopolimer	13
2.6. Abu Terbang (<i>fly ash</i>)	16
2.7. Alkali Aktivator	18
2.8. Keaslian Penelitian	20

Halaman

BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Material Geopolimer	21
3.2 Alkali Aktivator	23
3.3 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.....	24
3.4 Alat	24
3.5 Flowchart Penelitian	25
3.6 Proporsi Campuran Pasta Geopolimer	28
3.7 Pembuatan Pasta Geopolimer.....	32
3.8 <i>Mix Design</i> Campuran Beton	33
3.8.1 Beton Konvensional.....	33
3.8.2 Beton Geopolimer	35
3.9 Pengadukan Campuran Beton	36
3.9.1 Beton Konvensional.....	37
3.9.2 Beton Geopolimer	37
3.10 Pemasakan Campuran Beton	37
3.11 Pengujian <i>Workability</i>	38
3.12 Pengujian Beton Segar	39
3.13 Perawatan Beton Keras.....	40
3.14 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	40
3.14.1 Pengujian Kuat Tekan Pasta Geopolimer	40
3.14.2 Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer	41
BAB IV HASIL PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil Kuat Tekan Pasta Geopolimer	43
4.2 Karakteristik Agregat	45
4.2.1 Karakteristik Agregat Kasar.....	45
4.2.2 Karakteristik Agregat Halus.....	47
4.3 Pembuatan Beton Silinder	49
4.3.1 Beton Geopolimer	49
4.3.1.1 Hasil Pemeriksaan Slump Beton	49
4.3.1.2 Hasil Pemeriksaan Beton Segar	50
4.3.2. Beton Konvensional	50
4.3.2.1 Hasil Pemeriksaan Slump Beton	50

4.3.2.2 Hasil Pemeriksaan Beton Segar.....	51
4.4 Hasil Kuat Tekan Beton	52
BAB V KESIMPULAN	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.2 Perbedaan Penelitian	20
3.1 Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i> PLTU Buntoi	22
3.2 Rekapitulasi Komposisi Pasta Geopolimer	31
3.3 Komposisi Jumlah Sampel Pasta Geopolimer	33
3.4 Perencanaan Campuran Beton Konvensional	34
3.5 Perencanaan Campuran Beton Geopolimer	36
3.6 Rekapitulasi Komposisi Campuran Beton	37
3.7 Rekapitulasi Jumlah Sampel Beton	37
4.1 Hasil Kuat Tekan Pasta Umur 3 Hari	45
4.2 Hasil Pemeriksaan Slump Beton Geopolimer	49
4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Beton Segar Geopolimer	50
4.4 Hasil Pemeriksaan Slump Beton Konvensional	50
4.5 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Beton Segar Konvensional	51
4.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	52

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.1 Sketsa Lokasi Penelitian	6
1.2 Sketsa Lokasi Pengambilan Matrial	7
3.1 <i>Fly Ash</i> PLTU Buntoi Kabupaten Pulang Pisau	21
3.2 Agregat Kasar (Batu Pecah).....	22
3.3 Agregat Halus (Pasir Putih)	23
3.4 Sodium Hidroksida dan Sodium Silikat	23
3.5 Pengadukan Menggunakan Mesin Molen	36
3.6 Pematatan Beton Segar	37
3.7 Pengujian Slump	38
3.8 Pengujian Beton Segar	49
3.9 Perawatan Beton Keras	40
3.10 Pengujian Kuat Tekan Pasta Geopolimer	40
3.11 Pengujian Beton Geopolimer	41
4.1 Grafik Hubungan Kuat Tekan Pasta Dengan Umur Pasta	43
4.2 Grafik Hubungan Analisa Saringan Agregat Kasar.....	45
4.3 Grafik Hubungan Analisa Saringan Agregat Kasar Modifikasi	46
4.4 Grafik Hubungan Analisa Saringan Halus.....	48
4.5 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Dengan Umur Beton	52
4.6 Pola Retak Beton Geopolimer	52
4.7 Pola Retak Beton Konvensional	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan jenis konstruksi yang paling diminati pada saat ini, dan semen Portland merupakan unsur yang paling penting dalam pembuatan beton konvensional. Pembangunan infrastruktur di Indonesia rata-rata menggunakan beton, dengan demikian produksi semen Portland di Indonesia pun semakin meningkat. Seiring dengan produksi semen yang meningkat, maka karbondioksida (CO₂) yang dihasilkan pun semakin besar. Secara keseluruhan produksi semen diseluruh dunia menghasilkan 1,6 juta ton CO₂ atau sekitar 7% dari pelepasan CO₂ ke atmosfer (Metha,2001;Malhotra,1999;2002). Membakar 1 ton semen sama dengan menghasilkan 1 ton karbondioksida (CO₂) (Davidovits,1994). CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran semen sangat berpengaruh dalam pencemaran udara, yang akan berimbas pada pemanasan global.

Selain itu, masalah global yang ada pada saat ini adalah pencemaran lingkungan dari limbah hasil industri, salah satunya adalah limbah pembakaran batu bara atau *fly ash*. Menurut Badan Pengendali Dampak Lingkungan (Bapedal) *fly ash* dikategorikan dalam limbah berbahaya (B3) karena mengandung oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan mencemari lingkungan. Pemakaian batu bara yang meningkat pada saat ini untuk memenuhi kebutuhan pembangkit listrik maupun industri menimbulkan masalah baru akibat pembakaran batu bara tersebut. PLTU

Buntoi Kabupaten Pulang Pisau yang mulai beroperasi pada tahun 2016 berbahan bakar batu bara dan akibat pembakaran tersebut menghasilkan *fly ash*, yang sangat potensial untuk dimanfaatkan. Tion, 2019 melakukan penelitian menggunakan *fly ash* limbah PLTU Buntoi untuk dijadikan bahan pengganti sebagian semen untuk campuran beton normal, penelitian tersebut menggunakan komposisi penambahan *fly ash* sebanyak 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, setelah dilakukan komposisi penambahan *fly ash* tersebut masih belum mendapatkan kuat tekan beton yang optimal sesuai yang direncanakan. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan teknologi geopolimer. Teknologi geopolimer adalah teknologi yang memanfaatkan limbah bahan-bahan buangan industri yang banyak mengandung unsur silika dan alumina, dalam hal ini adalah *fly ash*. Untuk melarutkan unsur-unsur silika dan alumina yang terkandung dalam *fly ash* diperlukan larutan alkalis. *Fly ash* memerlukan bahan aktivator yang berupa sodium hidroksida (NaOH) dan sidium silikat (Na_2SiO_3) agar dapat bereaksi dalam campuran beton. Sodium hidroksida berfungsi mereaksikan unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* agar menghasilkan ikatan polimer yang kuat, sedangkan sidium silikat berfungsi untuk mempercepat polimerisasi (Sumajouw dan Dapas,2012). Material geopolimer tersebut digabungkan dengan agregat batuan kemudian menghasilkan beton geopolimer tanpa menggunakan semen lagi.

Pada saat ini telah banyak yang mengembangkan beton geopolimer atau beton ramah lingkungan. Beton geopolimer sendiri adalah beton yang 100% tidak menggunakan semen dan digantikan dengan bahan lain, salah satunya

adalah *fly ash*. Material yang bersifat pozzolan mengandung silika dan alumina dapat dijadikan pengikat (*binder*), diantaranya adalah *fly ash* (Davidovits, 2008). Beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* terbentuk dari reaksi polimerisasi akibat reaksi alkali-aluminosilikat yang menghasilkan material kuat berstruktur seperti zeolit (Davidovits, 2005). Manuahe, Sumajouw, dan Windah, 2014 melakukan penelitian beton geopolimer menggunakan *fly ash* tipe F yang berasal dari PLTU Amurang dengan konsentrasi NaOH sebesar 8M, yang menghasilkan kuat tekan beton maksimal sebesar 27,462 MPa pada *curing time* selama 24 jam dengan suhu 90^o C. Ekaputri dan Triwulan, 2013 melakukan penelitian menggunakan *fly ash* tipe F yang berasal dari PLTU Paiton dengan konsentrasi NaOH 8M sampai 14M dengan rasio Na₂SiO₃ terhadap NaOH antara 0,5 – 2,5, dikatakan bahwa semakin besar rasio Na₂SiO₃ terhadap NaOH tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang tinggi, sedangkan semakin tinggi molaritas maka semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan. Molaritas pada konsentrasi 14M menghasilkan kuat tekan yang lebih besar jika dibandingkan dengan molaritas yang rendah. Berdasarkan beberapa penelitian di atas, maka penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan hasil sampingan PLTU Buntoi sebagai bahan baku pembuatan beton geopolimer. Pada penelitian kali ini *fly ash* yang dimanfaatkan untuk beton geopolimer adalah tipe C yang berasal dari limbah pembakaran batu bara PLTU Buntoi. Dengan konsentrasi NaOH sebesar 8M dan penambahan rasio Na₂SiO₃ terhadap NaOH sebesar 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari rasio perbandingan Na₂SiO₃ terhadap NaOH dan

konsentrasi molaritas yang diharapkan menghasilkan kuat tekan beton geopolimer yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi campuran antara *fly ash* PLTU Buntoi dan alkali aktivator sehingga menghasilkan kuat tekan pasta geopolimer yang maksimal?
2. Bagaimana besaran nilai kuat tekan pasta geopolimer yang dihasilkan dari campuran *fly ash* PLTU Buntoi?
3. Bagaimana perbandingan antara kuat tekan beton yang dihasilkan dari beton geopolimer dengan beton konvensional?
4. Bagaimana interaksi antara semen geopolimer berbahan dasar abu terbang PLTU Buntoi dengan bahan pembentuk beton geopolimer lainnya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini:

1. Mengetahui komposisi campuran antara *fly ash* PLTU Buntoi dan alkali aktivator sehingga menghasilkan kuat tekan pasta geopolimer yang maksimal.
2. Mengetahui besaran nilai kuat tekan beton geopolimer yang dihasilkan dari campuran *fly ash* PLTU Buntoi.
3. Mengetahui perbandingan antara kuat tekan beton yang dihasilkan dari beton geopolimer dengan beton konvensional.

4. Mendapatkan gambaran interaksi antara semen geopolimer berbahan dasar abu terbang PLTU Buntoi dengan bahan pembentuk beton geopolymer lainnya

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. *Fly ash* yang digunakan adalah tipe C yang berasal dari PLTU Buntoi, Pulang Pisau.
2. *Fly ash* yang digunakan adalah yang telah lolos pada saringan no. 200.
3. Bahan aktivator yang digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3).
4. Pemeriksaan sifat-sifat agregat berdasarkan metode dan peraturan SNI.
5. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Mandiangin, Kalimantan Selatan.
6. Agregat halus yang digunakan berasal dari Tangkiling, Kalimantan Tengah.
7. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
8. Pengujian dilakukan masih dalam skala Laboratorium.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penggunaan *fly ash* PLTU Buntoi dapat dikembangkan sebagai solusi pengganti semen Portland.

2. Dengan memanfaatkan sisa pembakaran batu bara PLTU Buntoi pada campuran beton geopolimer dapat menjadi solusi untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat pembakaran tersebut.
3. Memberi wawasan dan pengetahuan mengenai pengaruh konsentrasi NaOH dan Na₂SiO₃ terhadap kuat tekan beton geopolimer.
4. Memberikan informasi tentang pembuatan beton geopolimer berbahan *fly ash* sebagai pengganti semen Portland.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi pemeriksaan agregat dan pelaksanaan pengujian kuat tekan beton dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya Kota Palangka Raya Provinsi Kalimantan Tengah.



Gambar 1.1 Sketsa Lokasi Penelitian

1.7 Lokasi Pengambilan Material

Pengambilan material berupa agregat kasar dilakukan di Mandiangin Provinsi Kalimantan Selatan, dan agregat halus dilakukan di Tangkiling Provinsi Kalimantan Tengah. Serta pengambilan *fly ash* dilakukan di PLTU Buntoi Kabupaten Pulang Pisau.



Gambar 1.2 Sketsa Lokasi Pengambilan Fly Ash

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semen

Semen berasal dari bahasa latin *caementum* yang berarti bahan perekat. Secara sederhana definisi semen adalah bahan perekat atau lem, yang bisa merekatkan bahan-bahan material lain seperti batu bata dan batu koral hingga bisa membentuk sebuah bangunan. Sedangkan dalam pengertian secara umum semen diartikan sebagai bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat (Bonardo Pangaribuan, Holcim).

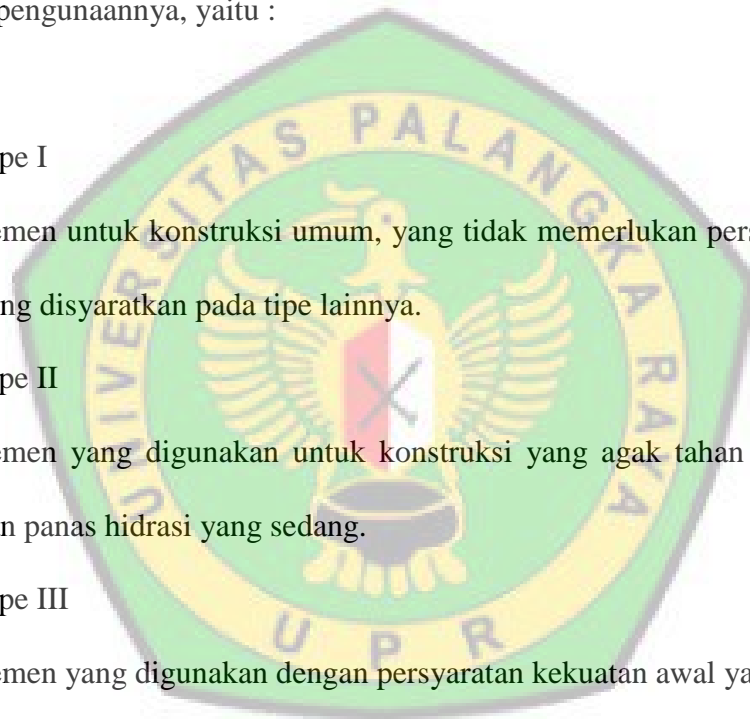
Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (*Clinker*) Portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat (CaOSiO_2) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan yang berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4\text{H}_2\text{O}$) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (*Mineral in component*). Hidrolis berarti sangat mudah bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi dengan air secara cepat.

Bahan dasar penyusun semen terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika dan oksida besi, maka bahan-bahan itu menjadi unsur-unsur pokok semennya. Komposisi kimia semen portland pada umumnya terdiri dari CaO , SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 , yang merupakan oksida dominan. Sedangkan

oksida lain yang jumlahnya hanya beberapa persen dari berat semen adalah MgO, SO₃, Na₂O dan K₂O. Senyawa kimia yang menjadi penyusun utama semen memiliki sifat yang berbeda-beda sehingga semen didapat menjadi beberapa jenis sesuai dengan cara mengubah kadar senyawa kimia sesuai pada tujuan penggunaan semen.

Menurut SNI S-04-1989-F semen Portland terbagi menjadi 5 tipe sesuai dengan penggunaannya, yaitu :

1. Tipe I
Semen untuk konstruksi umum, yang tidak memerlukan persyaratan khusus yang disyaratkan pada tipe lainnya.
2. Tipe II
Semen yang digunakan untuk konstruksi yang agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang.
3. Tipe III
Semen yang digunakan dengan persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Tipe IV
Semen yang digunakan untuk hidrasi yang rendah.
5. Tipe V
Semen yang digunakan dengan syarat sangat tahan terhadap sulfat.



2.2 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan (SNI No: 1737-1989-F). Menurut Silvia Sukirman, (2003), agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Agregat untuk beton adalah butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat dengan ukuran butiran antara 0,063-150 mm. Agregat menurut asalnya dapat dibagi dua yaitu agregat alami yang diperoleh dari sungai dan agregat buatan yang diperoleh dari batu pecah. Agregat alami adalah berupa *coarse* agregat (kerikil), *coarse sand* (pasir kasar), dan *fine sand* (pasir halus). Dalam campuran beton, agregat merupakan bahan penguat (*strengter*) dan pengisi (*filler*), dan menempati 60% — 75% dari volume total beton.

2.3 Air

Secara ilmiah, air bisa diartikan sebagai sebuah senyawa kimia yang terdiri dari dua unsur, yaitu unsur H₂ (hidrogen) yang berikatan dengan unsur O₂ (oksigen) yang kemudian menghasilkan senyawa air (H₂O). Secara sederhana, air juga bisa diartikan sebagai sebuah sumber kehidupan dan tanda kehidupan. Air pada beton mempunyai fungsi sebagai pengencer. Agar cairan beton dapat padat dan mengisi ruang-ruang sehingga membentuk cetakan. Ciri-ciri air yang baik untuk campuran beton adalah tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Air

mempunyai peranan yang cukup penting dalam pembuatan beton, karena berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sifat-sifat yang berpengaruh adalah kemudahan pengerjaan (*workability*) dan penyusutan. Selain itu tujuan utama pemakaian air adalah untuk proses hidrasi, yaitu reaksi antara semen dan air yang menghasilkan campuran keras setelah beberapa waktu tertentu. Setelah pengecoran air juga berguna untuk perawatan (*curing*) guna menjamin proses pengerasan yang sempurna. Dalam praktiknya, estimasi air terikat secara kimia didapat dengan mengeringkan contoh sampai 100 °C. Kualitas air sangat mempengaruhi kekuatan beton. Air diusahakan agar tidak membuat rongga pada beton, tidak membuat retak pada beton dan tidak membuat korosi pada tulangan yang mengakibatkan beton menjadi rapuh.

2.4 Beton

Dalam konstruksi, beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen Portland, yang terdiri dari agregat mineral (biasanya kerikil dan pasir), semen dan air. Biasanya dipercayai bahwa beton mengering setelah pencampuran dan peletakan. Sebenarnya, beton tidak menjadi padat karena air menguap, tetapi semen berhidrasi, mengelem komponen lainnya bersama dan akhirnya membentuk material seperti-batu. Beton digunakan untuk membuat perkerasan jalan, struktur bangunan, fondasi, jalan, jembatan penyeberangan, struktur parkir, dasar untuk pagar/gerbang, dan semen dalam bata atau tembok blok.

Penggunaan beton dan bahan-bahan vulkanik seperti abu pozzolan sebagai pembentuknya telah dimulai sejak zaman Yunani dan Romawi bahkan mungkin sebelumnya. Dengan campuran kapur, pozzolan, dan batu apung, bangsa Romawi banyak membangun infrastruktur seperti akuaduk, bangunan, drainase dan lain-lain. Di Indonesia penggunaan yang serupa bisa dilihat pada beberapa bangunan kuno yang tersisa. Benteng Indrapatna di Aceh yang dibangun pada abad ke-7 oleh kerajaan Lamuri, bahan bangunannya berupa kapur, tanah liat, dan batu gunung. Orang Mesir telah menemukan sebelumnya bahwa dengan memakai aditif debu vulkanik mampu meningkatkan kuat tekan beton.

Kelebihan beton adalah dapat mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Selain itu pula beton juga memiliki kekuatan mumpuni, tahan terhadap temperatur yang tinggi dan biaya pemeliharaan yang murah. Sedangkan kekurangannya adalah bentuk yang telah dibuat sulit diubah tanpa kerusakan. Pada struktur beton, jika ingin dilakukan penghancuran maka akan mahal karena tidak dapat dipakai lagi. Beda dengan struktur baja yang tetap bernilai. Berat, dibandingkan dengan kekuatannya dan daya pantul yang besar. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun lemah dalam tariknya. Jika struktur itu langsung dan tidak diberi perkuatan yang cukup akan mudah gagal. Menurut perkiraan kasar, nilai kuat tariknya sekitar 9%-5% kuat tekannya. Maka dari itu perkuatan sangat diperlukan dalam struktur beton. Perkuatan yang umum adalah dengan menggunakan tulang baja yang jika dipadukan sering disebut dengan beton bertulang

2.5 Geopolimer

Geopolimer dapat diartikan sebagai material yang terbentuk melalui polimerisasi silika, alumina, dan oksigen menjadi struktur *amorphous* 3 dimensi. Geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh J. Davidovits sekitar tahun 70-an. Disebut geopolimer karena merupakan hasil dari bahan-bahan alam nonorganik lewat proses polimerisasi. Bahan dasar utama yang dibutuhkan untuk pembuatan material geopolimer ini adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silika dan alumina. Prekursor yang digunakan dalam pembuatan geopolimer dapat berasal dari limbah industri dan bahan alam yang mengandung mineral aluminosilikat. Limbah industri dan bahan yang berasal dari alam yang memiliki banyak kandungan alumina dan silika yang dapat digunakan sebagai material geopolimer adalah abu terbang (*fly ash*), *blast furnace slag*, serbuk granit dan lumpur merah (*red mud*).

Potensi penggunaan geopolimer melingkupi banyak bidang karena memiliki sifat kekuatan tekan yang tinggi, mempunyai ketahanan abrasi tinggi, bahan dan waktu settingnya bisa diatur sesuai perencanaan, tahan terhadap api (sampai 1000°C) tanpa menghasilkan asap yang beracun jika dipanaskan, mempunyai rentang yang lama untuk sifat ketahanan asam dan garam. Bukan subyek dari reaksi alkali agregat, bahan adhesive terhadap beton lama dan beton baru, baja, gelas dan keramik, memiliki kemampuan cetak yang bagus, dan memiliki sifat protektif terhadap baja penguat karena memiliki pH tinggi dan laju penetrasi kloride yang rendah (Duxson dkk, 2007). Sifat pada geopolimer yang beragam tersebut tidak dihasilkan dengan cara formulasi tunggal. Faktor-faktor

yang mempengaruhi sifat pada geopolimer adalah rasio Si/Al (Davidovits, 2002), rasio $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ (De Silva dan Sagoe-Crenstil, 2007; Criado, Fernandez-Jimenez, dan Palomo, 2007) dan metode curing (Criado, Palomo, dan Fernandez-Jimenez, 2005).

Keberadaan alkali dalam semen atau beton Portland dapat menyebabkan *Alkali-Aggregate-Reaction* (AAR) yang sangat berbahaya. Namun hal tersebut tidak terjadi pada semen geopolimer, bahkan pada semen geopolimer yang mempunyai kandungan alkali yang lebih tinggi. Davidovits membuktikan dalam penelitiannya bahwa berdasarkan ASTM C227 yaitu merupakan pengujian *bar expansion*, semen geopolimer dengan kandungan alkali yang jauh lebih tinggi dibandingkan semen Portland tidak menimbulkan *Alkali-Aggregate-Reaction* (AAR) yang berbahaya. Namun Song menyatakan bahwa kekuatan tekan geopolimer mengalami penurunan setelah terjadi kontak dengan asam, dan bergantung pada jangka waktu kontak antara geopolimer dan asam.

Tidak seperti pada semen Portland, semen geopolimer tahan terhadap asam. Sebagaimana ditunjukkan oleh pengujian pada asam dimana sampel direndam di dalam lima asam klorida dan asam sulfat, semen geopolimer lebih stabil dengan hanya kehilangan berat sekitar 5-8%. Sementara itu pada semen Portland menunjukkan kehilangan berat sebesar 30-60%. Dengan melihat kehilangan berat pada semen geopolimer dan semen Portland setelah kontak dengan asam, para peneliti tersebut dapat menyimpulkan bahwa semen geopolimer atau beton geopolimer jauh lebih baik daripada semen Portland dalam

hal ketahanan asam yang ditunjukkan oleh kehilangan beratnya yang jauh lebih kecil dibandingkan semen Portland.

Davidovits pertama kali melakukan penelitian pada objek struktur mineral dari piramid. Sebelumnya, piramid dibuat dengan menyusun balok-balok raksasa, namun berdasarkan penelitian Davidovits, piramid dibuat dengan metode re-aglomerasi batuan bukan hanya dengan menyusun balok-balok raksasa. Komposisi kimia pada material geopolimer mirip dengan zeolit yaitu sama-sama mengandung kerangka Si-O-Al namun pada geopolimer memiliki struktur yang bersifat amorf. Reaksi yang terjadi pada geopolimer adalah reaksi eksotermis pada temperatur rendah dibawah 100⁰C. Davidovits juga menyarankan agar penggunaan istilah *polysialate* untuk geopolimer berbasis silika-aluminat. Sialat adalah singkatan dari dari silikon-okso-aluminat (*silico-oxo- aluminate*).

Jika dibandingkan dengan semen Portland biasa, semen geopolimer memiliki keunggulan yaitu adalah lebih ramah lingkungan dan hemat energi dibandingkan dengan semen Portland. Material geopolimer juga dapat berperan dan berguna dalam immobilisasi logam berat. Geopolimer dikatakan ramah lingkungan karena selain dapat menggunakan bahan-bahan buangan industri, proses pembuatan material geopolimer juga tidak terlalu memerlukan energi yang besar seperti halnya proses pembuatan semen yang memerlukan suhu tinggi. Oleh karena itu pembuatan material geopolimer mampu menurunkan emisi gas rumah kaca yang diakibatkan oleh proses produksi semen hingga tinggal 20 persen saja.

2.6 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) merupakan limbah dari hasil pembakaran batu bara yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan ukuran partikel berkisar antara 5-100 μm . PLTU berbahan bakar batu bara biasanya menghasilkan limbah padat dalam bentuk abu. Abu batu bara yang merupakan limbah dari proses pembakaran pada pembangkit tenaga listrik tersebut dapat berupa abu terbang, abu dasar dan lumpur *flue gas desulfurization*. Produksi abu terbang batu bara (*fly ash*) didunia terutama di Indonesia akan terus bertambah seiring dengan bertambahnya penggunaan batu bara pada pembangkit listrik dalam menghasilkan energi. Abu terbang (*fly ash*) sebagai limbah PLTU berbahan bakar batu bara dikategorikan oleh Bapedal sebagai limbah (B3) yang sangat berbahaya bagi manusia. Bahan berbahaya yang terkandung dalam abu terbang adalah arsenik (43,4 ppm), barium (806 ppm), berillium (5 ppm), boron (311 ppm), kadmium (3,4 ppm), kromium (136 ppm), kromium VI (90 ppm); kobalt (35,9 ppm), tembaga (112 ppm), fluor (29 ppm), timbal (56 ppm), mangan (250 ppm), nikel (77,6 ppm), selenium (7,7 ppm), stronsium (775 ppm), talium (9 ppm), vanadium (252 ppm), dan seng (178 ppm).

Banyak para peneliti yang melakukan pengujian cenderung lebih memilih abu terbang tipe F dibandingkan dengan abu terbang C. Hal tersebut dikarenakan kandungan unsur silika dan alumina yang terdapat dalam tipe F lebih tinggi dibandingkan tipe C sehingga ketika bereaksi dengan alkalin aktivator dapat menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Dengan ikatan polimer tersebut, maka akan terbentuk padatan berupa amorf sampai semi kristal (Pujianto,2010)

Abu terbang yang dapat digunakan untuk campuran pengganti sebagian semen atau 100% tanpa semen dalam beton dibagi menjadi 3 kelas menurut ACI 226.3R-3 yaitu kelas F, kelas C dan kelas N. Untuk Abu terbang tipe C adalah Abu terbang yang memiliki kandungan CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara (batubara muda).

Penghasil produksi abu terbang batu bara terbesar adalah dari sektor industri pembangkit listrik. Abu terbang batu bara pada umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industry tersebut. Abu terbang tersebut selanjutnya dipindahkan ke lokasi penimbunan abu dan terkumpul di lokasi tersebut dalam jumlah yang sangat banyak. Dengan bertambahnya jumlah abu batu bara maka ada usaha-usaha untuk memanfaatkan limbah industri tersebut. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batu bara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomis pada beton serta mengurangi dampak buruk dari abu terbang terhadap lingkungan. Saat ini pada umumnya abu terbang digunakan pada pabrik semen yang digunakan sebagai salah satu bahan campuran pembuatan beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang mempunyai beberapa kegunaan yang sangat beragam diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. *Recovery* magnetit, *cenosphere*, dan karbon
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori
5. Bahan penggosok (*polisher*)

6. *Filler* aspal, plastik, dan kertas
7. Pengganti dan bahan baku semen
8. Aditif dalam pengolahan limbah (*waste stabilization*)
9. Konversi menjadi zeolit dan adsorben

2.7 Alkali Aktivator

Larutan alkali aktivator yang dapat memberikan kuat tekan dengan baik adalah kombinasi antara NaOH dan sodium silikat atau kombinasi antara KOH dan potassium silikat (Palomo, Grutzeck, dan Blanco, 1999). Pemakaian larutan NaOH memberikan reaksi yang lebih baik dibandingkan dengan larutan KOH (Provis, White, dan van Deventer, 2010; Yunsheng dkk., 2009). Tipe larutan alkali adalah faktor yang sangat penting dalam mempengaruhi kekuatan mekanik geopolimer. Kombinasi dari natrium silikat dan natrium hidroksida memberikan kekuatan tekan yang paling tinggi. Natrium hidroksida berperan dalam memutuskan ikatan silika dan alumina pada prekursor untuk membentuk SiO_4^- dan AlO_4^- atau disebut sebagai proses disolusi, sedangkan sodium silikat mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi lebih cepat pada alkali yang banyak mengandung larutan sodium silikat dibandingkan yang mengandung sodium hidroksida. Kuat tekan pasta geopolimer meningkat, ketika jumlah Na_2SiO_3 meningkat. Na_2SiO_3 memperbaiki proses geopolimerisasi dengan mempercepat peleburan sumber material (Xu dan Van Deventer, 2000). Material yang mengandung silika dan alumina dengan konsentrasi tinggi akan bereaksi dengan lebih cepat ketika dicampurkan dengan sodium hidroksida yang tinggi.

Larutan alkali aktivator merupakan larutan yang dibutuhkan untuk memungkinkan terjadinya reaksi polimerisasi monomer alumina dan silika. Larutan alkali berasal dari logam alkali yang dapat larut, yang pada umumnya adalah larutan berbasis natrium atau kalium. Larutan alkali aktivator akan mengaktifkan prekursor dengan mendissolusikan prekursor ke dalam monomer $[\text{SiO}_4]$ dan $[\text{AlO}_4]$. Selama proses *curing*, monomer – monomer tadi akan terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga-dimensi yang berikatan silang. Ion alkali bertindak sebagai penetral muatan (*charge balancer*) untuk tiap molekul tetrahedron $[\text{AlO}_4]$. Proses *curing* merupakan proses yang penting karena dapat meningkatkan kekuatan beton geopolimer. Waktu yang diperlukan oleh pasta geopolimer untuk mengeras akan bervariasi tergantung dari komposisi material yang menyusun pasta geopolimer itu sendiri. Komposisi pasta geopolimer akan menentukan kuat tekan geopolimer itu sendiri. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Sanjayan Daniel dan Sagoe-Crentsil, rasio antara abu terbang dengan aktivator merupakan parameter yang berperan penting terhadap kuat tekan pasta geopolimer pada temperatur yang tinggi.

Reaksi yang terjadi ialah reaksi yang bersifat endotermis yang menyerap panas dari lingkungan. Panas yang diserap akan mengakibatkan pasta mengeras karena telah terjadi polikondensasi dari alumina dan silika yang membentuk senyawa aluminosilikat. Jika temperatur *curing* semakin tinggi maka waktu *curing* untuk pasta geopolimer akan semakin singkat. Temperatur yang makin tinggi akan meningkatkan proses aktivasi abu terbang sehingga kuat tekan akan meningkat. Hasil penelitian ini mendukung penelitian yang dilakukan oleh

Palomo, Grutzeck, dan Blanco yang menyatakan bahwa makin tinggi temperatur *curing* akan meningkatkan proses aktivasi abu terbang.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Palomo, Grutzeck, dan Blanco, penggunaan larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) dapat menghasilkan kekuatan tekan yang tinggi. Kuat tekan dapat mencapai hingga 60 MPa jika di-*curing* pada suhu 85°C selama 5 jam. Penelitian lain yang dilakukan oleh Swanepoel dan Strydom menyatakan bahwa faktor waktu dan temperatur masa *curing* mempengaruhi kuat tekan geopolimer, dan kekuatan optimum terjadi ketika material di-*curing* pada suhu 60°C selama 24 jam.

2.8 Keaslian Penelitian

Tabel 2.2 Perbedaan Penelitian

Peneliti	Fly ash	NaOH	Kuat tekan (MPa)	Keterangan
Windah, Sumajouw, Manuahe, 2014	Tipe F	8M	27,462	Variasi waktu curing 4 jam, 8 jam, 12 jam, 24 jam.
Yuanda, Fadli, drastinawati, 2015	Tipe f	14M	7,56 MPa	Variasi $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 0,8-2,0
Ekaputri dan Triwulan, 2013	Tipe F	8-14M	51,3 MPa	Variasi $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 0,5-2,5
Suriyana, 2019	Tipe C	8M	7,64 MPa	Variasi $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5$

Sumber : Penelitian Terdahulu

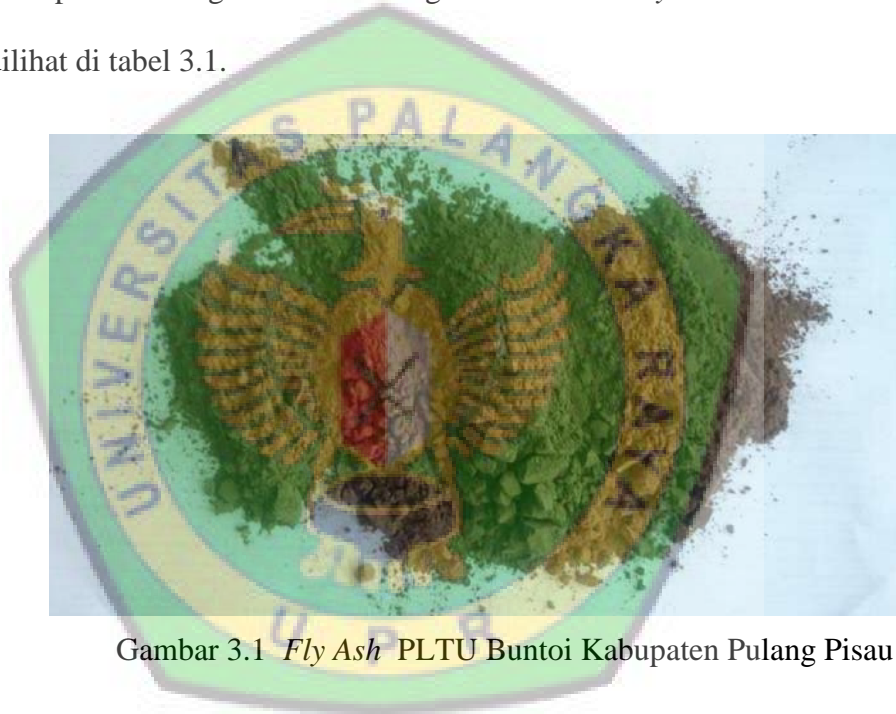
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Material Geopolimer

1. Fly Ash

Fly ash yang digunakan adalah Tipe C yang berasal dari PLTU Buntoi Kabupaten Pulang Pisau. Kandungan kimia dari *Fly ash* itu sendiri dapat dilihat di tabel 3.1.



Gambar 3.1 *Fly Ash* PLTU Buntoi Kabupaten Pulang Pisau

Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Fly Ash* PLTU Buntoi Kabupaten Pulang Pisau

Identifikasi	Abu Terbang(%)
SiO ₂	21.59
Al ₂ O ₃	12.05
Fe ₂ O ₃	23.54
CaO	18.84
MgO	8.84

Sumber : Liliana, Meilawaty dan Sahay, 2018

Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Fly Ash* PLTU Buntoi Kabupaten Pulang Pisau

K_2O	0.63
TiO_2	0.57
Na_2O	0.66
MnO_2	0.47
Cr_2O_3	0.005
SO_3	3.11
LOI	9.86

Sumber : Liliانا, Meilawaty dan Sahay, 2018

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang berasal dari Mandiangin Provinsi Kalimantan Selatan yang telah masuk spesifikasi SNI.M-08-1989-F.



Gambar 3.2 Agregat Kasar (Batu Pecah)

3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah berupa pasir putih yang berasal dari Tangkiling Provinsi Kalimantan Tengah yang telah masuk spesifikasi SNLM-08-1989-F.



Gambar 3.3 Agregat Halus (Pasir Putih)

3.2 Alkali Aktivator

Alkali Aktivator yang digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3).



Gambar 3.4 Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

3.3 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Pemeriksaan agregat yang dilakukan mengacu pada spesifikasi SNI pemeriksaan Laboratorium.

1. Pemeriksaan Berat Volume
2. Pemeriksaan Analisa Saringan
3. Pemeriksaan Kadar Air
5. Pemeriksaan Berat Jenis
6. Pemeriksaan Kadar Lumpur
7. Pemeriksaan Keausan

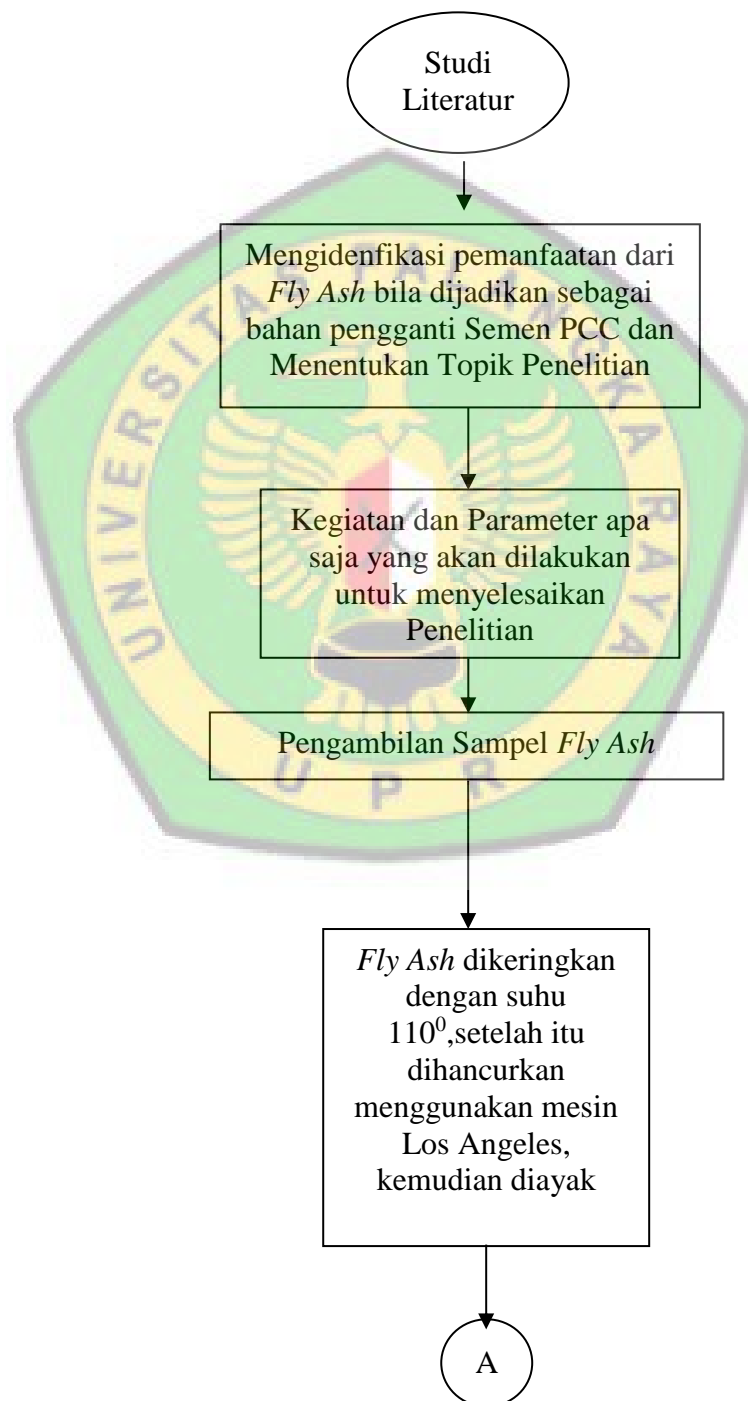
3.4 Alat

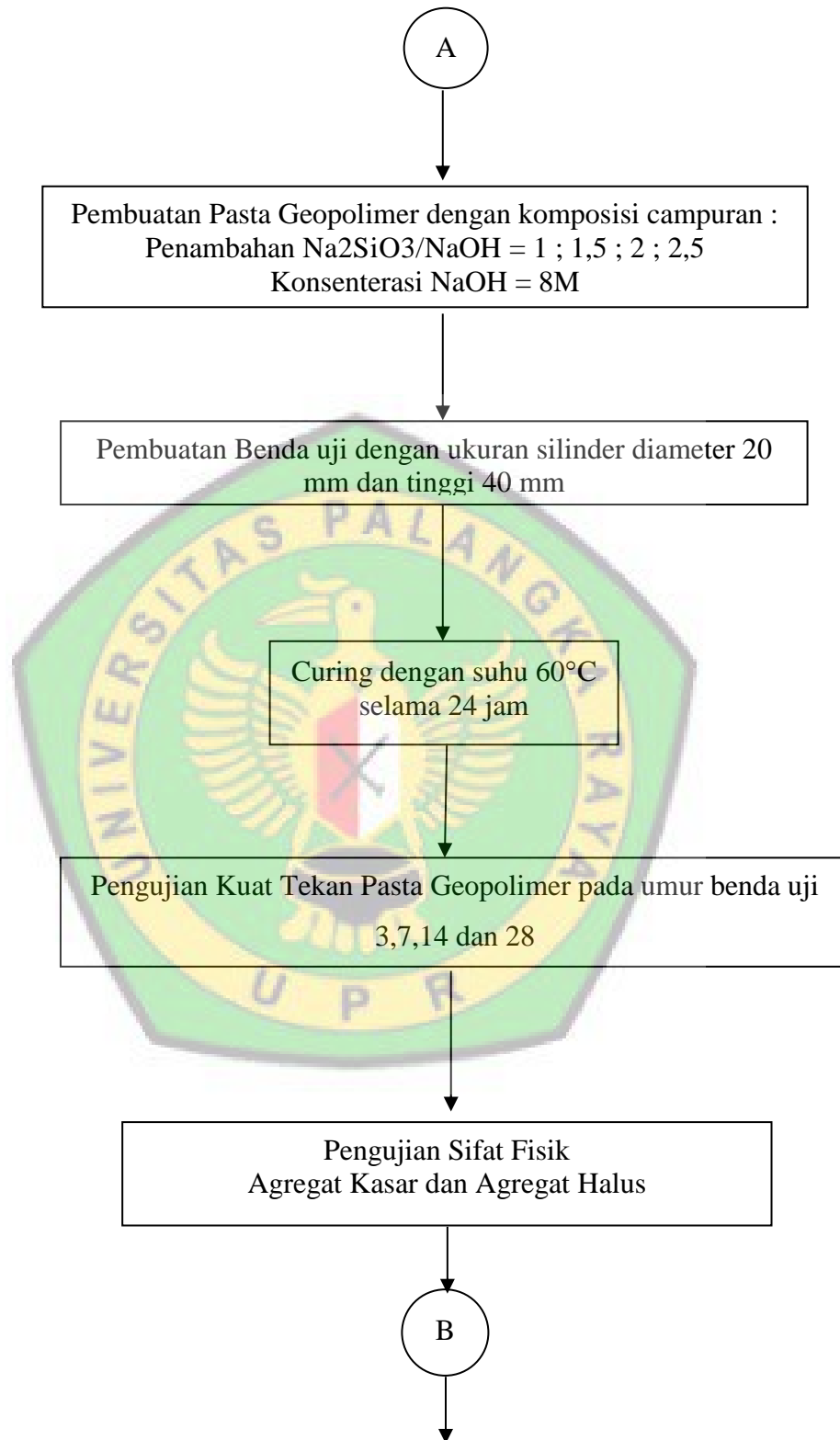
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

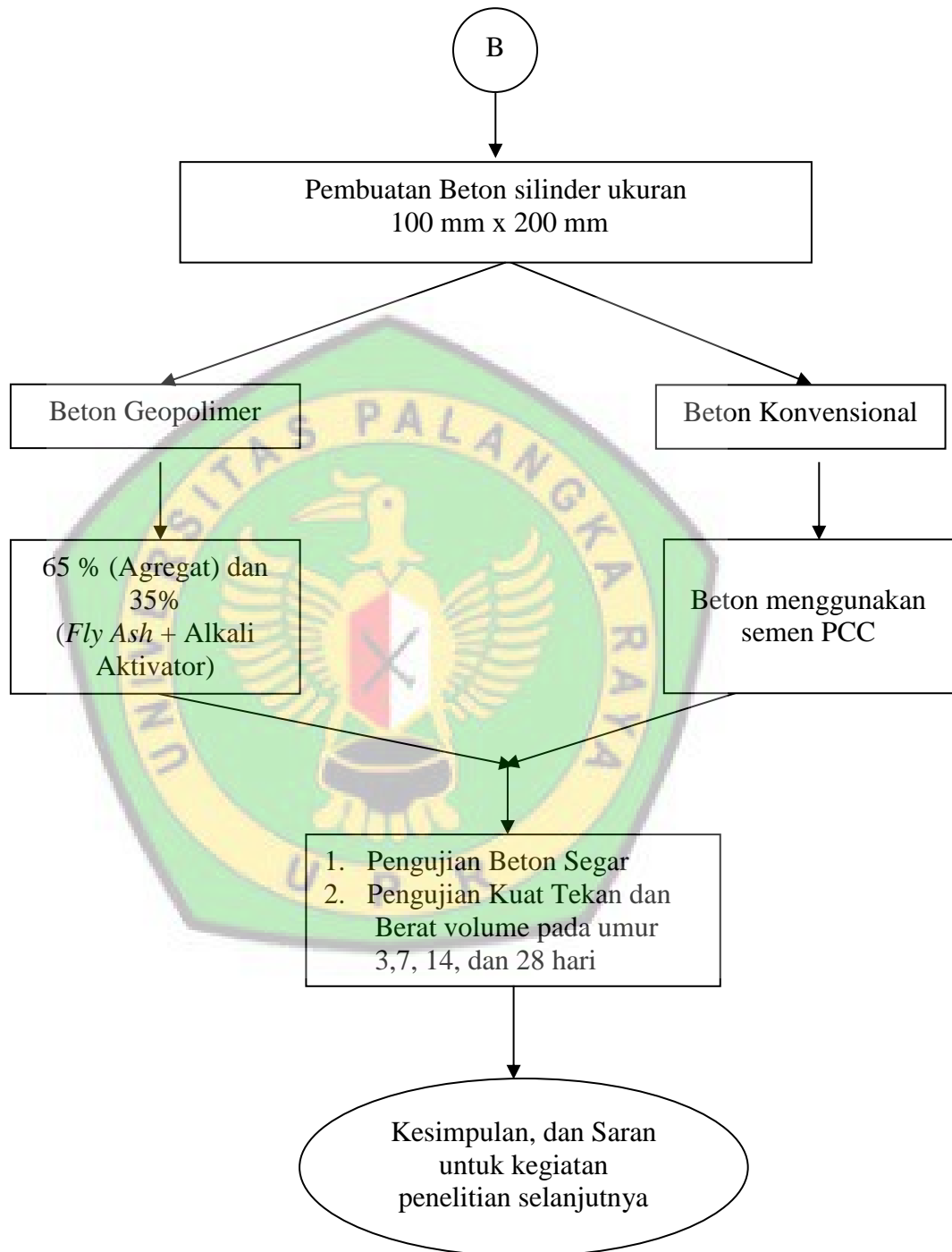
1. Timbangan digital dan timbangan manual dengan kapasitas 20 kg.
2. Satu set saringan standar pemeriksaan SNI-2010 Divisi 7 Revisi 3.
3. Oven yang dilengkapi pengaturan suhu.
4. Wadah baja berbentuk silinder dan tongkat pemadat.
5. Mistar ukur.
6. Keranjang kawat dengan ukuran 3,35 mm (No.6) atau (No.8) dengan kapasitas kira kira 5 kg.
7. Mesin Los Angeles dan bola baja.
8. Cetakan silinder berukuran 20x40 mm³.
9. Talam berkapasitas besar dan berkapasitas kecil.
10. Sendok semen dan pengaduk semen.

11. Ember, gelas ukur dan labu ukur.
13. Alat uji slump beton dan mesin uji tekan beton (*Universal Testing Macine*).

3.5 Flowchart Penelitian







3.6 Proporsi Campuran Pasta Geopolimer

Untuk mendapatkan *mix design* yang optimal untuk beton geopolimer, terlebih dahulu dilakukan *trial mix* terhadap pasta dengan menggunakan sampel silinder berukuran 20x40 mm³. Dalam menentukan *mix design* campuran pasta geopolimer sebelumnya harus mengetahui komposisi yang tepat dari material geopolimer.

Pada pembuatan pasta geopolimer penelitian ini NaOH yang digunakan yaitu sebesar 8M atau sebanyak 320 gram. Perbandingan antara Na₂SiO₃ (Sodium Silikat) dengan NaOH (Sodium Hidroksida) adalah 1;1,5;1;2,5. *Fly ash* yang digunakan dalam pembuatan pasta adalah 100 gram, dengan perbandingan *fly ash* dan alkali aktivator 55% : 45%.

a. Perbandingan Na₂SiO₃ dengan NaOH = 1

$$\begin{aligned}
 100 \text{ fly ash} &\longrightarrow \text{alkali aktivator} = 45/55 \times 100 \\
 &= 4500/55 \\
 &= 81,81 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 1$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1 \text{ NaOH}$$

$$\text{Alkali Aktivator} = \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$81,81 = \text{NaOH} + 1 \text{ NaOH}$$

$$81,81 = 2 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = 81,81/2$$

$$= 40,90 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1 \text{ NaOH}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1 \times 40,90$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 40,90 \text{ gram}$$

b. Perbandingan Na_2SiO_3 dengan $\text{NaOH} = 1,5$

$$100 \text{ fly ash} \longrightarrow \text{alkali aktivator} = 45/55 \times 100$$

$$= 4500/55$$

$$= 81,81 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 1,5$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{Alkali Aktivator} = \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$81,81 = \text{NaOH} + 1,5 \text{ NaOH}$$

$$81,81 = 2,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = 81,81 / 2,5$$

$$= 32,73 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1,5 \times 32,73$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 49,09 \text{ gram}$$

c. Perbandingan Na_2SiO_3 dengan $\text{NaOH} = 2$

$$100 \text{ fly ash} \longrightarrow \text{alkali aktivator} = 45/55 \times 100$$

$$= 4500/55$$

$$= 81,81 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 2$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2 \text{ NaOH}$$

$$\text{Alkali Aktivator} = \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$81,81 = \text{NaOH} + 2 \text{ NaOH}$$

$$81,81 = 3 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = 81,81/3$$

$$= 27,27 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2 \text{ NaOH}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2 \times 27,27$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 54,54 \text{ gram}$$

d. Perbandingan Na_2SiO_3 dengan $\text{NaOH} = 2,5$

$$100 \text{ fly ash} \longrightarrow \text{alkali aktivator} = 45/55 \times 100$$

$$= 4500/55$$

$$= 81,81 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 2,5$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{Alkali Aktivator} = \text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$$

$$81,81 = \text{NaOH} + 2,5 \text{ NaOH}$$

$$81,81 = 3,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{NaOH} = 81,81/3,5$$

$$= 23,37 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2,5 \text{ NaOH}$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 2,5 \times 23,37$$

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 58,43 \text{ gram}$$

Tabel 3.2. Rekapitulasi Komposisi Pasta Geopolimer

No	Fly Ash (gram)	NaOH	Na ₂ SiO ₃ /NaOH	NaOH (gram)	Na ₂ SiO ₃ (gram)	Jumlah Sampel
1	100	8M	1	40,9	40,9	6 Buah
2	100	8M	1,5	32,73	49,09	6 Buah
3	100	8M	2	27,27	54,54	6 Buah
4	100	8M	2,5	23,37	58,43	6 Buah

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Tabel 3.3 Komposisi Jumlah Sampel Pasta Geopolimer

Umur 3 Hari			
No	Na ₂ SiO ₃ /NaOH	NaOH	Jumlah Sampel
1	1	8M	6 Buah
2	1,5	8M	6 Buah
3	2	8M	6 Buah
4	2,5	8M	6 Buah
Umur 7 Hari			
No	Na ₂ SiO ₃ /NaOH	NaOH	Jumlah Sampel
1	1	8M	6 Buah
2	1,5	8M	6 Buah
3	2	8M	6 Buah
4	2,5	8M	6 Buah
Umur 14 Hari			
No	Na ₂ SiO ₃ /NaOH	NaOH	Jumlah Sampel
1	1	8M	6 Buah
2	1,5	8M	6 Buah
3	2	8M	6 Buah
4	2,5	8M	6 Buah
Umur 28 Hari			
No	Na ₂ SiO ₃ /NaOH	NaOH	Jumlah Sampel
1	1	8M	6 Buah
2	1,5	8M	6 Buah
3	2	8M	6 Buah
4	2,5	8M	6 Buah

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

3.7 Pembuatan Pasta Geopolimer

Larutan NaOH yang berbentuk padat terlebih dahulu dicairkan, dimasukan kedalam gelas ukur kemudian ditambahkan air hingga benar-benar tenggelam, setelah itu dimasukan kedalam labu ukur dan dilihat apakah sudah mencapai garis batas pada labu ukur, jika belum maka ditambahkan air hingga mencapai batas pada labu ukur. Larutan NaOH yang telah cair didiamkan selama 24 jam agar

mencapai suhu ruangan. Kemudian dicampurkan dengan Larutan Na_2SiO_3 , diaduk hingga tercampur rata. Kemudian *fly ash* dimasukan dan diaduk menggunakan *mixer* agar tercampur rata. Adonan pasta tersebut dimasukan kedalam cetakan silinder $20 \times 40 \text{ mm}^3$ dan ditutup menggunakan plastik agar tidak terjadi penguapan, dan dilakukan *curing* pada suhu 60°C selama 24 jam.

3.8 Mix Design Campuran Beton

3.8.1 Beton Konvensional

Beton konvensional direncanakan dengan mutu beton $f_c' = 30 \text{ MPa}$ dengan menggunakan metode SNI 03-2834-1993. Perencanaan campuran beton konvensional dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Perencanaan Campuran Beton Konvensional

Uraian	Keterangan	Satuan
Kuat Tekan Rencana	30	MPa
Agregat Kasar	Batu Pecah	
Agregat Halus	Pasir	
Semen	Semen PCC	
Benda Uji	Silinder	m ³
Nilai Tambah	12	MPa
Kuat Tekan Rata-rata	42	MPa
Faktor Air Semen	0,46	
Kondisi Beton	Terlindung Dari Hujan Dan Terik Matahari Langsung	
Jumlah Semen Minimum Per m ³ Beton	275	kg
Nilai Slump	30-60	mm
Kadar Air Bebas	210	
Berat Semen (Kadar Air Bebas / FAS)	456,5217	kg/m ³

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Tabel 3.4. Perencanaan Campuran Beton Konvensional

Uraian	Keterangan	Satuan
Menentukan Perbandingan Agregat Kasar dan Agregat Halus Berdasarkan Tabel SNI 03-2834-2000	Agregat Kasar 44,5%	
	Agregat Halus 55,5%	
Berat Jenis Campuran (Perbandingan Agregat x Berat Jenis Agregat)	2,52	kg/m ³
Menentukan Berat Beton Berdasarkan Grafik SNI 03-02834-2000	2275	kg/m ³
Menghitung Kebutuhan Ag. Campuran (Berat Beton - Kebutuhan Semen - Kadar Air Bebas)	1608,4783	kg/m ³
Kebutuhan Ag. Halus (Presentase Agregat x Kebutuhan Agregat Campuran)	715,7728	kg/m ³
Kebutuhan Ag. Kasar (Presentase Agregat x Kebutuhan Agregat Campuran)	892,7055	kg/m ³
Koreksi Jumlah Air	Agregat Halus = 0,2147	kg
	Agregat Kasar = 21,1571	kg
	Air = 188,6282	kg
Proporsi Campuran 1 m ³	Agregat Halus = 715,9875	kg/m ³
	Agregat Kasar = 913,8626	kg/m ³
	Semen = 456,5217	kg/m ³
	Air = 188,6282	lt/m ³
Volume Benda Uji	0,001885	m ³
Volume Benda Uji 3 sampel	0,00566	m ³
Berat Material 3 Benda Uji (Proporsi Material 1 m ³ x Volume 3 Sampel)	Semen = 2,5839	kg
	Air = 1,0676	kg
	Agregat Halus = 4,0525	kg
	Agregat Kasar = 5,1725	kg

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

3.8.2 Beton Geopolimer

Perhitungan campuran beton geopolimer menggunakan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ yang hasil kuat tekannya paling tinggi, yaitu 2,5 dengan kuat tekan 22,56 MPa pada umur 28 hari. Perhitungan campuran beton geopolimer dapat dilihat pada tabel 3.5. Secara lengkap perhitungan dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 3.5. Perencanaan Campuran Beton Geopolimer

Uraian	Keterangan	Satuan
Perbandingan Geopolimer	65% Agregat	
	35% Pasta	
γ_b	2400	kg/m ³
V 1 Benda Uji ($\pi \times r^2 \times t$)	0,00157	m ³
V 3 Benda Uji (3 x V1)	0,00471	m ³
Kebutuhan Beton (V3 x γ_b x 1,2)	13,5648	kg/m ³
Agregat Campuran (65% x Kebutuhan Beton)	8,8171	kg
Agregat Halus (1/3 x Agregat Campuran)	2,9391	kg
Agregat Kasar (2/3 x Agregat Campuran)	5,8781	kg
Pasta (35% x Kebutuhan Beton)	4,7477	kg
$\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$	2,5	
<i>Fly ash</i> : Alkali Aktivator	55% : 45%	
<i>Fly ash</i> (55% x Pasta)	2,6113	kg
Alkali Aktivator (45% x Pasta)	2,1365	kg
Alkali Aktivator	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$	
NaOH (2,1365 / 3,5)	0,6105	kg
Na_2SiO_3 (2,5 x 0,6105)	1,5263	kg

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Tabel 3.6. Rekapitulasi Komposisi Campuran Beton

No	Uraian	Volume 3 Sampel (m3)	Konvensional	Geopolimer	Satuan
			Jumlah	Jumlah	
1	Semen	0,00566	2,5838	-	kg
2	Air	0,00566	1,0676	-	lt
3	Agregat Halus	0,00566	4,0525	-	kg
4	Agregat Kasar	0,00566	5,1725	-	kg
5	<i>Fly Ash</i>	0,00566	-	2,6113	kg
6	NaOH	0,00566	-	0,6105	kg
7	Na ₂ SiO ₃	0,00566	-	1,5263	kg
8	Agregat Kasar	0,00566	-	5,8781	kg
9	Agregat Halus	0,00566	-	2,9391	kg

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Tabel 3.7. Rekapitulasi Jumlah Sampel Beton

Umur	Uraian	
	Beton Geopolimer	Beton Konvensional
3 Hari	3 buah	3 buah
7 Hari	3 buah	3 buah
14 Hari	3 buah	3 buah
28 Hari	3 buah	3 buah

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

3.9 Pengadukan Campuran Beton



Gambar 3.5. Pengadukan Menggunakan Mesin Molen

3.9.1 Beton Konvensional

Pengadukan beton dilakukan menggunakan mesin molen. Agregat kasar dan agregat halus yang pertama dimasukan, setelah agregat teraduk rata masukan semen dan biarkan hingga teraduk rata. Kemudian terakhir air dimasukan hingga teraduk rata dan semua material menjadi homogen.

3.9.2 Beton Geopolimer

Pada beton geopolimer cara pengadukan sama dengan beton konvensional yaitu dilakukan dengan mesin molen, tetapi berbeda pada saat memasukan material. Material yang pertama dimasukan adalah agregat halus kemudian *fly ash* hingga teraduk rata, kemudian larutan alkali aktivator yang dimasukan dan biarkan hingga teraduk rata. Setelah teraduk rata masukan agregat kasar dan biarkan hingga seluruhnya teraduk rata.

3.10 Pematatan Campuran Beton



Gambar 3.6. Pematatan Beton Segar

Pemadatan campuran mengacu pada metode SNI 4810-2010 yang dilakukan pada cetakan silinder berukuran 100x200 mm dengan menggunakan batang penusuk berdiameter 15mm dan *vibrator* standar Laboratorium. Pemadatan dilakukan dengan 3 lapisan dan masing-masing lapisan dilakukan penusukan sebanyak 25 kali sambil dilakukan penggetaran dengan mesin *vibrator*.

3.11 Pengujian *Workability*



Gambar 3.7. Pengujian Slump

Pengujian *workability* beton dilakukan dengan pengujian slump pada beton dengan menggunakan metode SNI 1972-2008. Pengujian slump dilakukan dengan menggunakan kerucut abrams dan tongkat penusuk. Beton segar dimasukkan pada kerucut abrams dengan 3 lapisan dan setiap lapisan ditusuk sebanyak 25 kali dan permukaan diratakan, kemudian dilakukan pengukuran pada penurunan permukaan beton dan ditentukan nilai slump.

3.12 Pengujian Beton Segar



Gambar 3.9. Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar dilakukan dengan pengujian berat isi beton segar yang mengacu pada SNI 1973-2008. Pengujian dilakukan pada wadah bekisting yang sebelumnya sudah diketahui beratnya, setelah dilakukan pemadatan pada 3 lapisan dengan 25 kali tusuk kemudian ditimbang beratnya. Perhitungan berat isi beton segar menggunakan rumus sebagai berikut.

$$D = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

Keterangan :

D : Berat Isi Beton Segar (kg/m³)

W₂ : Berat Benda Uji dan Wadah (kg)

W₁ : Berat Wadah (kg)

V : Volume Wadah (m³)

3.13 Perawatan Beton Keras



Gambar 3.9. Perawatan Beton Keras

Perawatan beton keras dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-4890-1998. Setelah beton segar dimasukkan pada bekisting, beton tersebut didiamkan selama ± 24 jam pada suhu ruangan. Setelah didiamkan ± 24 jam bekisting dilepas kemudian beton disimpan dalam penyimpanan basah, yaitu perendaman dalam air atau ditutupi kain basah.

3.14 Pengujian Kuat Tekan Beton

3.14.1 Kuat Tekan Pasta Geopolimer



Gambar 3.10. Pengujian Kuat Tekan Pasta Geopolimer

Test kuat tekan pasta geopolimer ini akan dilakukan pada usia beton 3,7,14 dan 28 hari. Untuk setiap tes kuat tekan, digunakan 6 benda uji dari setiap komposisi. Hal ini dilakukan untuk keakuratan data test kuat tekan masing-masing komposisi pasta. Alat yang digunakan dalam melakukan test kuat tekan ini adalah *Universal Testing Machine* dengan kapasitas beban 100 KN. Untuk mengetahui besar kuat tekan pasta digunakan rumus sebagai berikut.

$$\sigma = P/A$$

Keterangan :

σ = besar kuat tekan pasta (MPa)

P = besar beban beton yang membebani pasta (kg)

A = luas yang penampang terbebani (cm²)

3.14.2 Kuat Tekan Beton Geopolimer



Gambar 3.11. Pengujian Kuat Tekan Beton

Beton yang telah dikeluarkan dari cetakan kemudian dilakukan perawatan pada umur 3,7,14 dan 28 hari dan selanjutnya akan diuji kekuatan tekannya menggunakan *Universal Testing Machine* dengan kapasitas 3000 KN . Data yang didapat dari pengujian ini adalah beban maksimum (Pmax) yang mampu diterima benda uji sebelum mengalami kegagalan. Kuat tekan dipengaruhi oleh luas permukaan yang dikenai oleh beban. Kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\sigma = P/A$$

Keterangan :

σ = kuat tekan (Mpa)

F = beban maksimum (kg)

A = luas permukaan sampel (cm²)



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

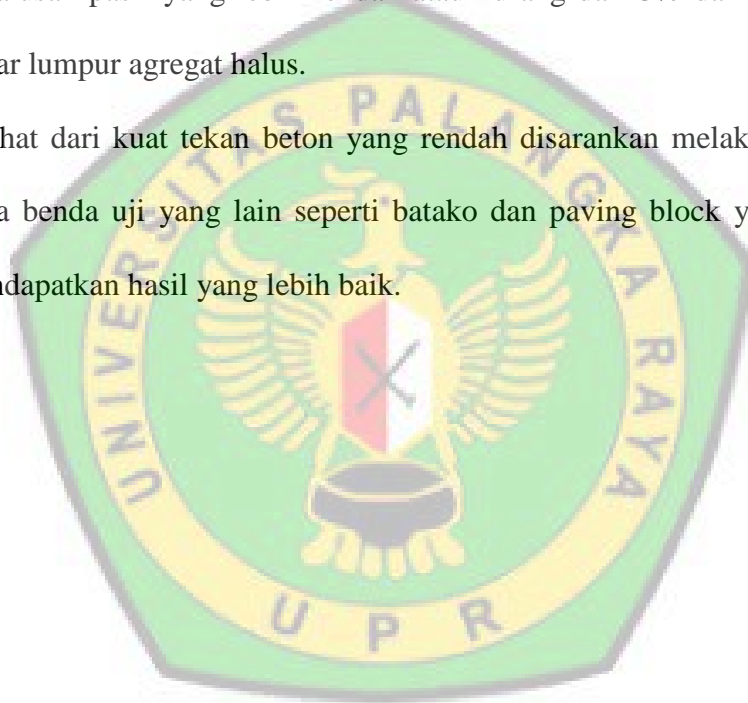
Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dalam “Kelayakan Abu Terbang PLTU Buntoi Sebagai Campuran Beton Geopolimer” ini disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Untuk menghasilkan kuat tekan pasta geopolimer yang maksimal komposisi yang diperlukan adalah 55% *fly ash*, 13% NaOH dan 32% Na_2SiO_3 .
2. Hasil kuat tekan pasta geopolimer yang paling tinggi sebesar 22,56 MPa, yang dihasilkan pada umur 28 hari dengan perbandingan NaOH terhadap Na_2SiO_3 sebesar 2,5.
3. Dari hasil pengujian diperoleh hasil kuat tekan beton geopolimer paling tinggi sebesar 7,64 MPa pada umur 28 hari dan hasil kuat tekan beton konvensional paling tinggi sebesar 29,51 MPa pada umur 28 hari.
4. Interaksi yang terjadi antara semen geopolimer berbahan abu terbang terhadap agregat tidak terjadi interaksi yang baik, semen tidak terlalu mengikat terhadap agregat.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, dapat disampaikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Penelitian ini masih bisa untuk diadakan penelitian kembali dengan jenis *fly ash* yang sama dengan meninjau kembali perbandingan campuran antara pasta geopolimer dan agregat serta meninjau kembali variasi suhu *curing*.
2. Jika dilakukan penelitian lanjutan disarankan agar memperhatikan modulus kehalusan pasir yang lebih rendah atau kurang dari 3% dan memperhatikan kadar lumpur agregat halus.
3. Dilihat dari kuat tekan beton yang rendah disarankan melakukan penelitian pada benda uji yang lain seperti batako dan paving block yang diharapkan mendapatkan hasil yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Davidovits J, (1994), *Membakar 1 Ton Semen Sama Dengan Menghasilkan 1 Ton Karbondioksida*. Prancis.
- Davidovits J., (1970), *Beton Geopolimer*. Prancis.
- Davidovits J., (2022), *Aplikasi Geopolimer Berdasarkan Rasio Si/Al*. Prancis.
- Ekaputri J.J. dan Triwulan, (2013), *Sodium Sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo Dalam Beton Geopolimer*. Fakultas Teknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ferdy., (2010), *Pengaruh Temperatur Dan Waktu Curing Terhadap Kuat Tekan Pasta Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Liliana, Meilawaty dan Sahay , (2018), *Komposisi Kimia Fly Ash PLTU Buntoi Kabupaten Pulang Pisau*. Palangka Raya.
- Meilawaty O., (2017), *Buku Panduan Panduan Praktikum Beton*. Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
- Mulyono T., (2004), *Teknologi Beton*. Yogyakarta.
- Septia P., (2011), *Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio NaOH:Na₂SO₃, Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Sumajouw dan Dapas, (2012), *Penggunaan Sodium Hidroksida dan Sidium Silikat*. Manado.
- Sukirman S., (2003), *Pengertian Agregat*. Palembang.
- Tion F., (2019), *Pemanfaatan Abu Batu Bara Sebagai Bahan Campuran Beton Pada Konstruksi Bangunan*. Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
- Windah, Sumajouw, dan Manuahe, (2014), *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.
- Winter dan George, (1993), *Material Penyusun Semen*. Inggris.
- Yuanda, Fadli, dan Drastinawati, (2015), *Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Bahan Pembuatan Beton Geopolimer*. Fakultas Teknik Universitas Riau.