

SKRIPSI

**HUBUNGAN BEBAN DAN WAKTU BETON *FLY ASH* DI
BAWAH BEBAN TEKAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**AYU SASMITHA TAMRIN
D011201020**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

HUBUNGAN BEBAN DAN WAKTU BETON *FLY ASH* DI BAWAH BEBAN TEKAN

Disusun dan diajukan oleh

AYU SASMITHA TAMRIN
D011 20 1020

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 6 Maret 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng
NIP: 198604092019043001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Ayu Sasmitha Tamrin
NIM : D011201020
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Hubungan Beban dan Waktu Beton *Fly Ash* di Bawah Beban Tekan}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 18 Desember 2023

Yang Menyatakan



Ayu Sasmitha Tamrin

ABSTRAK

Ayu Sasmitha Tamrin. Hubungan Beban Waktu Beton *Fly Ash* di Bawah Beban Tekan (dibimbing oleh Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng dan Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.,)

Fly ash sebagai salah satu residu padat dari limbah industri tersedia dalam jumlah besar akibat dari pembakaran batubara di pembangkit listrik tenaga panas. Di seluruh dunia, pembangkit listrik berbahan bakar batu bara menghasilkan lebih dari 500 juta ton abu terbang per tahun, dan hanya 25 hingga 30% yang dimanfaatkan kembali di berbagai bidang. Abu terbang ini memiliki sifat pozzolan dan dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Bahan pengikat alternatif ini dikembangkan dengan memanfaatkan abu terbang sebagai bahan tambah dalam campuran beton. Pemanfaatan abu terbang sebagai bahan tambah dalam campuran beton merupakan salah satu usaha untuk menanggulangi masalah lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku hubungan beban tekan dan waktu pada beton substitusi semen *fly ash*. Penelitian ini dilakukan di Lab.Riset Eco Material Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan bahan penyusun beton berupa agregat kasar, agregat halus, semen, *fly ash* (abu terbang) dan air. Benda uji beton adalah benda uji silinder ukuran 10 x 20 dengan rancangan campuran beberapa variasi yaitu beton normal sebagai kontrol, dan 15% FA, 30% FA, 45% FA. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kuat tekan. Hasil penelitian yakni berdasarkan grafik hubungan beban tekan dan waktu yang terbentuk dapat dilihat bahwa hubungan beban dengan waktu campuran pada *fly ash* sebagai pengganti agregat kasar menunjukkan beban semakin meningkat hingga mencapai nilai maksimum dan menurun secara perlahan hingga benda uji mengalami kegagalan seiring dengan bertambahnya waktu.

Kata Kunci: *Fly Ash*, Kuat Tekan, Waktu.

ABSTRACT

Ayu Sasmitha Tamrin. *Load and time relationships of Fly Ash Concrete Under Compressive Load* (Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng dan Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.,)

Fly ash as a solid residue from industrial waste is available in large quantities due to coal burning in thermal power plants. Worldwide, coal-fired power plants produce more than 500 million tons of fly ash per year, and only 25 to 30% is reused in various fields. This fly ash has pozzolanic properties and can react with lime at room temperature in air and form compounds that have binding properties. This alternative bonding material was developed by using fly ash as an additional ingredient in the concrete mixture. The use of fly ash as an additive in concrete mixtures is one of the efforts to overcome environmental problems. The aim of this research is to analyze the behavior of the relationship between compressive load and time in fly ash cement substitute concrete. This research was carried out at the Eco Materials Research Lab, Faculty of Engineering, Hasanuddin University with concrete constituent materials in the form of coarse aggregate, fine aggregate, cement, fly ash and air. The concrete test specimens are cylindrical specimens measuring 10 x 20 with several variations of mix plans, namely normal concrete as a control, and 15% FA, 30% FA, 45% FA. The tests carried out were in the form of compressive strength tests. The results of the research, based on the graph of the relationship between compressive load and time, can be seen that the relationship between load and mixing time for fly ash as a substitute for coarse aggregate shows that the load increases until it reaches a maximum value and decreases slowly until the test specimen fails as time increases.

Keywords: Fly Ash, Compressive Strength, Time.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Beton	7
2.2.1 Jenis-Jenis Beton	8
2.2.2 Sifat-Sifat Beton	10
2.2.3 Kelebihan dan Kelemahan Beton	11
2.3 Material Penyusun Beton	12
2.3.1 Agregat Halus	12
2.3.2 Agregat Kasar	13
2.3.3 Semen Portland Komposit	13
2.3.4 Air	15
2.3.5 <i>Fly Ash</i> (Abu Terbang)	16
2.4 Kuat Tekan	18

BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Bagan Alir Penelitian	21
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	23
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data	23
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	23
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material	26
3.5.1 Agregat Kasar	26
3.5.2 Agregat Halus	26
3.5.3 <i>Fly Ash</i>	27
3.6 Pembuatan Benda Uji	27
3.7 Metode Pemeriksaan <i>Slump Test</i>	31
3.8 Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji	31
3.9 Pengujian Benda Uji	31
3.9.1 Pengujian Kuat Tekan	31
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Pengujian Karakteristik Material	33
4.1.1 Agregat Kasar	33
4.1.2 Agregat Halus	34
4.1.3 <i>Fly Ash</i>	35
4.2 Rancangan Campuran Beton	36
4.3 Waktu Pada Kondisi Elastis, Kondisi Beban Puncak dan kondisi Pasca Beban Puncak (<i>Ultimate</i>)	37
4.4 Hubungan Beban dan Waktu Campuran <i>Fly Ash</i> akibat Beban Tekan	39
4.5 Hasil Vicat Test	43
4.6 Penerapan Hasil Uji Beban dan Waktu	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagan Alir Penelitian	22
Gambar 2. Alat yang digunakan	24
Gambar 3. Bahan campuran beton.....	25
Gambar 4. Penyiapan material	28
Gambar 5. Pencampuran material	28
Gambar 6. Memasukkan air	28
Gambar 7. Pengadukan material	29
Gambar 8. Pengujian slump	29
Gambar 9. Mencetak beton	30
Gambar 10. Memadatkan benda uji	30
Gambar 11. Mendiamkan beton.....	30
Gambar 12. <i>Curing</i> air benda uji	31
Gambar 13 Pengujian kuat tekan	32
Gambar 14 Gradasi agregat kasar	34
Gambar 15. Gradasi agregat halus	35
Gambar 16. Hasil Analisa waktu pada fase elastis	37
Gambar 17. Hasil Analisa waktu pada beban puncak.....	38
Gambar 18. Hasil Analisa waktu pada kondisi ultimate.....	38
Gambar 19. Hubungan beban waktu sampel beton normal umur 28 hari.....	40
Gambar 20. Hubungan beban waktu sampel beton fly ash 15% umur 28 hari.....	41
Gambar 21. Hubungan beban waktu sampel beton fly ash 30% umur 28 hari.....	42
Gambar 22. Hubungan beban waktu sampel beton fly ash 45% umur 28 hari.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis beton menurut kuat tekannya	10
Tabel 2. Berat jenis beton	11
Tabel 3. Batasan gradasi agregat halus	13
Tabel 4. Batasan gradasi agregat kasar	13
Tabel 5. Standar pengujian karakteristik agregat kasar	26
Tabel 6. Standar pengujian karakteristik agregat halus	27
Tabel 7. Pemeriksaan karakteristik abu terbang	27
Tabel 8. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar.....	33
Tabel 9. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus.....	34
Tabel 10. Hasil pemeriksaan komposisi kimia fly ash	36
Tabel 11. Komposisi campuran beton.....	37
Tabel 12. Hasil Vicat Test.....	43

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$F'c$	Kuat tekan beton (MPa atau N/mm ²).
P	adalah beban maksimum (N)
A	Luas penampang(mm ²)
FA	<i>Fly Ash</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Persiapan Material.....	48
Lampiran 2. Dokumentasi Pembuatan Benda Uji.....	49
Lampiran 3. Dokumentasi Perawatan Benda Uji.....	50
Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian.....	51
Lampiran 5. Dokumentasi Setelah pengujian	52

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil‘aalamin, atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wata’ala, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.,IPM., ASEAN.Eng. .**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., MT.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini
3. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Prof. Dr. Eng. Rudi Djamaluddin, S.T., M.T.** selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis pesembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ayahanda **Tamrin**, dan ibunda **Herni**, beserta seluruh keluarga, atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun materi.
2. Saudara-saudari tercinta **Dirga dan Aulia** yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Teman-teman asisten Laboratorium Struktur dan Bahan, **Herli, Syawal, Fadhil, Valdo dan Acha** yang selalu memberikan dukungan yang tiada henti dan senantiasa meluangkan waktu untuk penulis, selama proses penelitian dan penyelesaian tugas akhir.
4. Teman terdekat saya **Rahmi dan Tiara**, yang senantiasa memberikan dukungan dengan berbagai cara dan selalu mendoakan dan menemani penulis dalam segala situasi dan kondisi
5. Teman-teman Kajian Muslimah, **Nailah dan Fira** yang senantiasa memberikan warna yang sangat begitu indah selama menempuh jenjang perkuliahan.
6. Seluruh rekan-rekan di Laboratorium Riset Eco Material, yang senantiasa memberikan semangat dan memberi warna kebersamaan di Laboratorium.
7. Saudara-saudariku seangkatan 2020 Teknik Sipil dan Lingkungan, ENTITAS 2021 yang telah memberi warna dalam perjalanan perkuliahan saya.

Gowa, 5 Maret 2024

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keresahan terhadap pencemaran lingkungan semakin meningkat dengan adanya ancaman keracunan terhadap manusia dan hewan. Banyaknya aktivitas industri dan limbah kota berkontribusi dalam penumpukan limbah dalam skala yang besar. Salah satu residu padat diantara berbagai limbah industry saat ini adalah abu terbang (*fly ash*) yang merupakan hasil dari pembakaran batu bara. Mineral ini tersedia dalam jumlah besar sebagai akibat dari pembakaran batubara di pembangkit listrik tenaga panas dan karakteristiknya terutama bergantung pada faktor geologi yang terkait dengan deposit batubara. Abu terbang ini memiliki sifat pozzolan dan dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Bahan pengikat alternatif ini dikembangkan dengan memanfaatkan abu terbang sebagai bahan tambah dalam campuran beton. Pemanfaatan abu terbang sebagai bahan tambah dalam campuran beton merupakan salah satu usaha untuk menanggulangi masalah lingkungan, karena abu terbang merupakan bahan buangan (limbah) yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan sekitarnya.

Fly ash merupakan pozzolan buatan yang banyak tersedia dan banyak digunakan sebagai bahan bangunan. Secara konvensional sekitar 20 hingga 30 persen semen digantikan dalam beton dengan *fly ash*. Namun demikian, beberapa peneliti telah mencoba bahkan dengan persentase yang lebih tinggi (hingga 70 persen) dan mencapai hasil yang baik, khususnya di trotoar. Struktur laut dan beton yang dipadatkan dengan roller. Keuntungan spesifiknya adalah penghematan semen yang lebih signifikan dan daya tahan yang lebih besar selain mengurangi panas hidrasi (B. Kameswara Rao dkk., 2022). Penggunaan *fly ash* pada komposit beton semakin penting, terutama karena beton yang dihasilkan tidak hanya ekonomis tetapi juga tahan lama. Untuk pemanfaatan *fly ash* pada beton secara tepat perlu diketahui karakteristiknya dan kemungkinan pengaruhnya terhadap sifat beton yang dihasilkan.

Di seluruh dunia, pembangkit listrik berbahan bakar batu bara menghasilkan lebih dari 500 juta ton abu terbang per tahun, dan hanya 25 hingga 30% yang dimanfaatkan kembali di berbagai bidang. Arpita Bhatt dkk., 2019 melaporkan bahwa terdapat potensi besar untuk pemanfaatan *fly ash* karena terlihat bahwa 45% tingkat pemanfaatan abu terbang untuk Tiongkok, 38% tingkat pemanfaatan untuk India, dan 65% untuk Amerika Serikat pada tahun 2015. *Fly ash* dihasilkan terutama karena pembakaran batubara sub-bituminus dan bituminus di pembangkit listrik tenaga panas, limbah partikulat halus dihasilkan, biasanya mengandung bagian mineral batubara yang sudah punah. Ini menunjukkan karakteristik mengandung silika dan alumina dan memiliki ukuran kehalusan sekitar 4000–8000 cm persegi per gram. Materi ini telah difokuskan secara luas. Namun, kemampuan jangka panjang *fly ash* sebagai material aset telah diabaikan. Terlepas dari manfaatnya, laju produksinya jauh melebihi pemanfaatannya. Untuk sisa limbah yang belum mengendap, danau, tempat pembuangan sampah, tumpukan sampah, dan kolam telah dikembangkan untuk tujuan penanganan. Semua hal tersebut dianggap sebagai penggunaan aset tanah yang tidak diinginkan, mengganggu secara ekologis, dan tidak menghasilkan keuntungan serta memberikan beban keuangan yang progresif melalui pemeliharaan jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian bernilai tambah mengenai pemanfaatan *fly ash* yang efektif di luar sektor konstruksi sangat diperlukan. Berbagai penelitian yang dilakukan terhadap *fly ash* mengungkapkan bahwa *fly ash* berpotensi muncul tidak hanya sebagai bangunan bernilai tinggi

Penelitian ini akan mengidentifikasi manfaat *fly ash* sebagai material pengganti semen pada beton. Identifikasi material *fly ash* menitikberatkan pada pengaruh penggunaan material ini terhadap kuat tekan beton khususnya pada umur 28 hari. Tujuannya untuk memastikan nilai kadar *fly ash* yang optimum pada campuran adukan beton mutu tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terkait, maka rumusan masalah yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Waktu yang dibutuhkan beton *fly ash* untuk mencapai kondisi elastis, beban puncak dan kondisi pasca beban puncak (*ultimate*).
2. Perilaku hubungan beban dan waktu beton *fly ash* di bawah beban tekan.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang di ambil, tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis waktu yang dibutuhkan beton *fly ash* untuk mencapai kondisi elastis, beban puncak dan kondisi pasca beban puncak (*ultimate*).
2. Untuk menganalisis perilaku hubungan beban waktu beton *fly ash* di bawah beban tekan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan referensi terkait dengan hubungan beban tekan dan waktu dalam penggunaan abu terbang sebagai semen dalam pembuatan beton.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian berjalan dengan baik dan terarah, maka penulis memberikan batasan masalah dalam melaksanakan penelitian, sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan limbah abu terbang tipe c.
2. Penelitian menggunakan cetakan silinder (tinggi 20 cm diameter 10 cm).
3. Pengujian dilaksanakan pada umur 28 hari pada kondisi *curing* air.
4. Pengujian dilakukan di laboratorium yang sesuai dengan standar resmi dan akan didapatkan hasil pengujian yang diharapkan.

1.6 Sistematika penulisan

Secara keseluruhan, tulisan ini disusun dalam 5 (lima) bab yang meliputi Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metode Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran. Berikut adalah gambaran umum mengenai kandungan yang tercakup dalam setiap bab, yaitu

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini dibahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang beberapa teori penting yang telah dilakukan terlebih dahulu yang memiliki keterkaitan erat dengan topik permasalahan serta dijadikan landasan dan acuan dalam melakukan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini dijelaskan tentang metode yang digunakan dalam penelitian. Terdapat *flowchart* yang berisikan langkah-langkah penelitian, lokasi serta waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data dan juga analisis yang digunakan untuk mengolah data yang didapatkan dari laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisi tentang hasil pemeriksaan karakteristik agregat, pengujian kuat tekan benda uji beton.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini terdapat kesimpulan hasil dari analisis penelitian yang telah dilakukan dan saran maupun rekomendasi yang dapat dilakukan untuk penelitian yang lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pemanfaatan *fly ash* (abu terbang) sebagai material pengganti semen pada produksi beton tentunya akan berdampak baik bagi lingkungan dan Pembangunan konstruksi yang berkelanjutan. Dalam pembuatan beton menggunakan abu terbang ini dilakukan dengan mengganti sebagian semen sebagai material pengikat. Berikut ini beberapa penelitian terdahulu terkait dengan penggunaan abu terbang sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton:

Setiawati (2018), melakukan penelitian mengenai pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat tekan beton. persentase *fly ash* yang digunakan juga bervariasi, yaitu 5% sampai 12.5% dengan interval penggunaan *fly ash* sebesar 2.5%. Beton akan diuji pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari setelah dilakukan perawatan dengan metode *curing*. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus sebanyak 96 benda uji dimana untuk setiap variasi terdapat 12 benda uji. Dari penelitian ini diperoleh bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada penggunaan 12,5% *fly ash*, yaitu 404,03 Kg/cm² pada umur 28 hari dengan persentase peningkatan 27,95%. Pada awal umur beton nilai kuat tertinggi pada penggunaan *fly ash* 12,5%, sebesar 231,04 Kg/cm² dengan persentase peningkatan sebesar 60% terhadap beton normal. Dapat disimpulkan bahwa pada awal umur beton, penggunaan *fly ash* mempengaruhi kekuatan beton. Persentase penggunaan *fly ash* 12,5% pada beton, akan menghasilkan beton dengan kuat tekan maksimum.

Kameswara Rao dkk. (2022), melakukan penelitian tentang fungsi *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen dan bahan pengisi pori pada beton serta pengaruh terhadap kuat tekan dari beton tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase optimal dari substitusi *fly ash* (abu terbang) sebagai pengganti sebagian semen bervariasi menurut rasio w/c. Pada penelitian ini persentase pengganti Sebagian semen dengan abu terbang akan lebih tinggi pada beton dengan rasio w/c rendah dan sebaliknya, akan lebih rendah pada beton dengan rasio w/c

yang tinggi. Dari penelitian ini juga dapat diketahui bahwa kuat tekan beton meningkat karna efek pengisian pori-pori dari abu terbang.

Catur Marina dkk. (2020), melakukan penelitian untuk mengetahui presentase *fly ash* pada campuran beton agar menghasilkan kuat tekan dan porositas optimum. Pada penelitian ini digunakan *fly ash* sebagai bahan tambahan campuran dengan variasi sebesar 0%, 10%, dan 20% dari berat semen dan variasi faktor air semen (FAS) yang digunakan sebesar 0.3, 0.4, dan 0.5. Agregat kasar berukuran maksimum 20 mm, dengan jumlah sampel 36 buah silinder, 27 buah silinder untuk pengujian kuat tekan dan 9 buah silinder untuk pengujian porositas dilakukan pada usia 28 hari. Mutu beton rencana pada penelitian ini 10 MPa mengacu pada mutu bata beton. Pengujian kuat tekan beton yang dihasilkan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*) dan pengujian porositas menggunakan alat Falling Head Water Permeability Test yang mengacu pada ACI 522R-10 yang dimodifikasi. Hasil eksperimen menunjukkan nilai optimum kuat tekan dan porositas rata-rata dengan variasi FAS 0,3 : FA 10%, untuk umur beton 28 hari secara berturut-turut adalah 5,4 MPa dan 7,75 m³/s. Kesimpulan penelitian ini adalah komposisi paling optimum untuk penggunaan fly ash yaitu sebesar 10% dengan faktor air semen 0,3.

Jayaputri Sahast dkk. (2022), melakukan penelitian terkait penggunaan *Fly Ash* sebagai bahan pengganti sejumlah semen dan bahan tambahan terhadap kuat tekan pada self compacting concrete. Penelitian ini menggunakan beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, kemudian digunakan fly ash tipe c sebagai bahan pengganti sejumlah semen dengan variasi penambahan sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, dan 12 % dengan nilai factor air semen sebesar 0.41. pada penelitian ini dilakukan pengujian *slump flow test* dan uji kuat tekan. *Slump flow test* dilakukan untuk mengetahui flowability dan workability beton, sedangkan uji tekan beton dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton yang dilakukan pada umur 35 hari dan 56 hari. Seiring dengan kenaikan penambahan *fly ash*, nilai *slump flow test* mengalami penurunan, sedangkan nilai kuat tekan mengalami kenaikan. Namun, penggunaan *fly ash* optimal terjadi saat fly ash digunakan sebagai bahan pengganti beton pada variasi senilai 3% dengan kuat tekan beton sebesar 35,98 MPa (35 hari) dan 33,68 MPa (56 hari), nilai berat volume beton

sebesar 2313,21 kg/m³ dan 2279,66 kg/m³, serta nilai *slump flow test* dan nilai T₅₀ telah memenuhi standar.

Suarnita (2011), melakukan penelitian terkait pengaruh abu terbang terhadap kuat tekan beton. Salah satu bahan pengikat alternatif adalah fly ash (abu terbang). Abu terbang memiliki sifat pozzolan dan dapat bereaksi dengan kapur pada suhu ruang dengan media air dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh abu terbang terhadap kuat tekan beton. Penentuan komposisi campuran berdasarkan SK SNI T-15-1990-03. Penelitian ini memvariasikan bahan tambah abu terbang antara 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% sebagai bahan tambah. Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa beton dengan penggunaan abu terbang sebagai bahan tambah dalam campuran beton mengalami peningkatan kuat tekan antara 5,088%, 9,473%, 12,103%, 14,034% hingga 15,437% dari beton normal.

Ghais dkk. (2014), melakukan penelitian terkait bahan limbah yang beresiko terhadap lingkungan, pembuangan TPA yang mahal dapat dimanfaatkan dalam semen dan beton aplikasi. Sebagian penggantian dari semen di dalam rekayasa proyek mengurangi itu biaya dari konstruksi dengan ekologis manfaat Jenis dan rasio campuran mempengaruhi kekuatan dan kemampuan kerja matriks semen-beton. Penelitian ini berkaitan dengan penggantian fly ash kelas F dan kaolin dengan semen yang digunakan dalam beton. Penggantian 10% fly ash dengan semen meningkatkan kualitas komprehensi kekuatan dari konkret di dalam 28 hari periode, Dan itu kemungkinan untuk dilaksanakan adalah ditingkatkan oleh 53,8%. Itu kaolin penggantian berkurang keduanya itu kekuatan dan kemungkinan untuk dilaksanakan dari konkret.

2.2 Beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 defenisi beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana pada usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik oleh karena itu beton banyak dipakai atau dipergunakan untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur

bangunan, jembatan dan jalan. DPU-LPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat.

Konstruksi di Indonesia saat ini semakin pesat perkembangannya dan signifikan. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya proyek-proyek bangunan konstruksi yang sedang berjalan. Beton normal adalah beton yang paling banyak digunakan dalam berbagai jenis konstruksi saat ini yang pada dasarnya terbuat dari campuran bahan agregat halus, agregat kasar, semen, air, dan atau dengan bahan tambah aditif. Semen dalam hal ini, sebagai material pengikat yang dapat menahan agregat tetap berada pada tempatnya. Beton dengan kualitas baik tentunya dapat menahan beban berupa tekanan yang dipengaruhi oleh kemudahan pengerjaan, faktor air semen dan zat tambahan.

2.2.1 Jenis-Jenis Beton

Menurut Mulyono (2006) secara umum beton dibedakan kedalam 2 kelompok, yaitu:

- a. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton.
 1. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Mutu kelas I dinyatakan dengan B0.
 2. Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan structural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu standar B1, K 125, K 175, dan K225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada mutu-mutu K 125 dan K 175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu dari hasil-hasil pemeriksaan benda uji.
 3. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan structural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus

dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.

b. Berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi 4 jenis, yaitu:

1. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran shale, lempung, slates, residu slag, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Berat jenis agregat ringan sekitar 1900 kg/m^3 atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar antara 1440 1850 kg/m^3 , dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari $17,2 \text{ MPa}$.

2. Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan batu pecah sebagai agregat kasar sehingga 10 mempunyai berat jenis beton antara 2200 kg/m^3 2400 kg/m^3 dengan kuat tekan sekitar 15 40 MPa .

3. Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 . Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

4. Beton massa (mass concrete)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif, misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan.

5. Beton Serat

Beton serat adalah beton komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Bahan serat dapat berupa serat asbes, serat tumbuh-

tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat plastic (polypropylene) atau potongan kawat logam.

6. Beton Non Pasir

Beton non pasir adalah suatu bentuk sederhana dan jenis beton ringan yang diperoleh menghilangkan bagian halus agregat pada pembuatannya. Rongga dalam beton mencapai 20-25 %.

7. Beton Siklop

Beton siklop sama dengan beton normal namun agregat yang digunakan memiliki ukuran yang besar. Ukurannya bisa mencapai 20 cm. Namun, proporsi agregat yang lebih besar tidak boleh lebih dari 20 %.

8. Beton Hampa (Vacuum Concrete)

Beton hampa adalah beton yang dibuat seperti beton biasa namun setelah tercetak padat kemudian air sisa reaksi disedot secara khusus. Dengan demikian air yang tinggal hanyalah air yang dipakai untuk bereaksi dengan semen sehingga beton yang diperoleh sangat kuat.

2.2.2 Sifat-Sifat Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2007) beton memiliki beberapa sifat yang dimiliki beton dan sering di pergunakan untuk acuan adalah sebagai berikut ini.

a. Kekuatan

Beton bersifat getas sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Oleh karena itu kuat tekan beton sangat berpengaruh pada sifat yang lain. Jenis beton menurut kuat tekannya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis beton menurut kuat tekannya (Tjokrodimuljo, 2007)

Jenis Beton	Kuat Tekan (Mpa)
Beton sederhana	10
Beton normal	15 - 30
Beton prategang	30 - 40
Beton kuat tekan tinggi	40 - 80
Beton kuat tekan sangat tinggi	>80

b. Berat Jenis

Tabel 2. menjelaskan mengenai berat jenis beton yang digunakan untuk konstruksi bangunan.

Tabel 2. Berat jenis beton (Tjokrodimuljo, 2007)

Jenis beton	Berat Jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1.00	Non struktur
Beton ringan	1.00 - 2.00	Struktur ringan
Beton normal	2.30 - 2.40	Struktur
Beton berat	> 3.00	Perisai sinar X

2.2.3 Kelebihan dan Kelemahan Beton

Menurut Sutikno (2003) penggunaan beton dalam konstruksi memiliki kelebihan dan kelemahan seperti yang tercantum dibawah ini:

a. Kelebihan

1. Mudah dicetak artinya beton segar dapat mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk dan ukuran.
2. Ekonomis artinya bahan-bahan dasar dari bahan lokal yang mudah didapatkan.
3. Awet dan tahan lama artinya beton termasuk berkekuatan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap perkaratan dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
4. Tahan api artinya tahan terhadap kebakaran.
5. Energi efisien artinya kuat tekan beton yang tinggi.
6. Dapat dicor ditempat artinya beton segar dapat dituang pada tempat yang posisinya sangat sulit. Juga dapat disemprotkan pada permukaan beton yang lama untuk menyambungkan dengan beton baru (*grouting*).
7. Bentuknya indah artinya dapat dibuat model sesuka hati menurut selera yang menghendakinya.

b. Kelemahan

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan.
2. Beton segar mengerut pada saat pengeringan dan beton keras mengembang jika basah, sehingga perlu diadakan dilatasi pada beton yang panjang untuk memberi tempat untuk kembang susut beton.
3. Beton sulit untuk kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air dan air membawa kandungan garam dapat merusak beton.

4. Beton bersifat getas sehingga harus dihitung dengan teliti agar setelah digabungkan dengan baja tulangan dapat bersifat kokoh terutama pada perhitungan bangunan tahan gempa.

2.3 Material Penyusun Beton

Beton sebagai material yang sering digunakan pada berbagai jenis konstruksi diperoleh dengan mencampurkan beberapa bahan dasar seperti agregat, semen, air dan dapat juga dengan menggunakan variasi bahan tambahan mulai dari bahan kimia tambahan, serat sampai bahan buangan non kimia dengan perbandingan tertentu. Berikut ini bahan-bahan penyusun beton yang juga dipakai sebagai bahan beton dalam penelitian ini:

2.3.1 Agregat Halus

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1996).

Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi.

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butiran-butiran agregat mempunyai ukuran sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang besar, sehingga poripori menjadi sedikit, dengan kata lain kemampuan menjadi tinggi (Tjokrodimulyo, 2007).

SNI 03-2834-2000 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus menjadi empat daerah atau zone yaitu: zona I (kasar), zona II (sedang), zona III (agak halus) dan zona IV (halus) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Batasan Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan				SNI 03-2834-2000			
Ayakan				Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Agak Halus	Pasir Halus
mm	SNI	ASTM	inch	Gradasi No.1	Gradasi No.2	Gradasi No.3	Gradasi No.4
9.5	9.6	3/8 in	0.375	100-100	100-100	100-100	100-100
4.75	4.8	no. 4	0.187	90-100	90-100	90-100	95-100
2.36	2.4	no. 8	0.0937	60-95	75-100	85-100	95-100
1.18	1.2	no. 16	0.0469	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	0.6	no. 30	0.0234	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	0.3	no. 50	0.0117	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0.15	no. 100	0.0059	0-10	0-10	0-10	0-15

2.3.2 Agregat Kasar

Menurut SNI 1969:2016 Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm sampai 40 mm.

Untuk mendapatkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik, dimana ukuran maksimal agregat kasar dikelompokkan menjadi 3 golongan yang dapat diketahui melalui uji gradasi yang akan ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Batasan Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Persentasi Lolos (%) Gradasi Agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
76	100	-	-
38	95-100	100	-
19	35-70	95-100	100
9.6	10-40	30-60	50-85
4.8	0-5	0-10	0-10

2.3.3 Semen Portland Komposit

Semen adalah material penyusun beton yang berfungsi sebagai perekat antara agregat kasar dan agregat halus. Apabila semen dicampur dengan air maka akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, semen dicampur dengan agregat halus dan air, membentuk adukan yang disebut mortar, semen dicampur dengan agregat halus, agregat kasar dan air, maka akan membentuk campuran beton.

Menurut SNI 15-2049-2004, menjelaskan bahwa semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Semen portland bersifat hidrolis karena di dalamnya terkandung kalsium silikat dan kalsium sulfat yang bersifat hidrolis dan sangat cepat bereaksi dengan air. Reaksi semen dengan air berlangsung secara irreversibel, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula.

Menurut SNI 15-2049-2004 semen portland dibedakan menjadi 5 tipe sebagai berikut:

- a. Tipe I yaitu semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus,
- b. Tipe II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang,
- c. Tipe III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi,
- d. Tipe IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah,
- e. Tipe V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Semen Portland yang dipakai untuk struktur harus mempunyai kualitas tertentu yang telah ditentukan agar dapat berfungsi secara efektif. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan, baik masih berbentuk bubuk kering maupun yang pasta.

Secara umum, ada 4 senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, yaitu:

- a. Trikalsium Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S .
- b. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S .
- c. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang di singkat menjadi C_3A .

d. Tertrakalsium aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF .

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat/mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi C_3S dan C_2S adalah 70%-80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen (Cokrodimuljo, 1992). Semen dan air saling bereaksi. Persenyawaan ini dinamakan proses hidrasi, dan hasilnya dinamakan hidrasi semen. Senyawa C_3S jika terkena air akan cepat bereaksi dan menghasilkan panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan mengeras sebelum hari ke-14. Senyawa C_2S lebih lambat bereaksi dengan air dan hanya berpengaruh terhadap semen setelah umur 7 hari. C_2S memberikan ketahanan terhadap serangan kimia (chemical attack) dan mempengaruhi susut terhadap pengaruh panas akibat lingkungan.

2.3.4 Air

Air adalah salah satu bahan untuk campuran beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen. Air diperlukan untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dipakai dalam campuran beton adalah air yang memenuhi persyaratan bahan bangunan, memenuhi syarat untuk bahan campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

Berdasarkan SNI 7974:2013 persyaratan air yang digunakan dalam campuran beton sebagai berikut:

- a. Air pencampur dapat meliputi; air untuk pengadukan, es, air yang yang ditambahkan oleh operator truk, air n bebas pada agregat-agregat dan air yang masuk dalam bentuk bahan-bahan tambahan, apabila air dapat meningkatkan rasio air semen lebih dari 0.01
- b. Air minum boleh digunakan sebagai air pencampur beton tanpa diuji apakah sesuai persyaratan standar ino

- c. Air pencampur seluruh atau sebagian terdiri dari sumber-sumber air yang tidak dapat di minum atau air dari produksi beton boleh digunakan dalam setiap proporsi dengan batasan kualitas yang memenuhi persyaratan.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air, yang akan digunakan sebagai bahan pencampur beton, meliputi kandungan lumpur maksimal 2 gr/lt, kandungan garam-garam yang dapat merusak beton maksimal 15 gr/lt, tidak mengandung khlorida lebih dari 0,5 gr/lt, serta kandungan senyawa sulfat maksimal 1 gr/lt. Secara umum, air dinyatakan memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pencampur beton, apabila dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling (Tjokrodimuljo, 1996).

2.3.5 *Fly Ash* (Abu Terbang)

Fly ash batu bara adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran Batubara (Wardani, 2008). Abu batubara merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf. Abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral (mineral matter) karena proses pembakaran. Proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (boiler) akan membentuk dua jenis abu, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Komposisi abu batu bara terdiri dari 10-20 % abu dasar dan 80-90% berupa abu terbang. Abu terbang ditangkap dengan electric precipitator sebelum dibuang ke udara melalui cerobong.

Fly ash batubara mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon.

Menurut Yogaswara (1998) Keuntungan menggunakan fly ash pada beton segar adalah sebagai berikut.

- a. Memperbaiki sifat pengerjaan adukan beton (*workability*) akibat bentuk partikelnya yang bundar, mengurangi jumlah air campuran yang dibutuhkan. Menurut pendapat Hadi (2000) menyatakan bahwa abu terbang dapat menambah *workability* dan kualitas mortar dalam hal kekuatan dan kekedapan air.

- b. Mengurangi jumlah panas hidrasi yang terjadi, sehingga baik untuk pembuatan beton massa karena dapat mengurangi terjadinya retak, dapat mengurangi kemungkinan terjadinya segregasi dan bleeding.
- c. Pada beton keras keuntungan penggunaan *fly ash* adalah mempertinggi daya tahan terhadap lingkungan yang bersifat agresif, meningkatkan kerapatan beton, mengurangi penyusutan, mengurangi pengembangan yang disebabkan oleh reaksi alkali agregat.

Pozolan dapat dipakai sebagai bahan tambahan atau sebagai pengganti sebagian semen portland. Bila dipakai sebagai pengganti sebagian semen portland umumnya berkisar antara 10% - 35% berat semen (Tjokrodimulyo, 1996). Dalam SK SNI S-15-1990-F spesifikasi abu Terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton disebutkan ada 3 jenis abu terbang, yaitu :

- a. Abu terbang kelas F, adalah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara, jenis antrasit pada suhu 1560°C.
- b. Abu terbang kelas N, adalah hasil kalsinasi dari pozolan alam seperti tanah diatonoce, shale (serpih), tuft, dan batu apung.
- c. Abu terbang kelas C adalah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran limit atau Batubara dengan kadar karbon ± 60 %. Abu terbang ini mempunyai sifat pozzolan dan sifat seperti semen dengan kadar kapur di atas 10 %.

Saat ini umumnya fly ash batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam seperti berikut ini:

- a. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
- b. Penimbun lahan bekas pertambangan
- c. Recovery magnetit, cenosphere, dan karbon
- d. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori
- e. Bahan penggosok (polisher)
- f. Filler aspal, plastik, dan kertas
- g. Pengganti dan bahan baku semen
- h. Konversi menjadi zeolit dan adsorben

2.4 Kuat Tekan

Berdasarkan SNI 1974:2011, Kuat tekan benda uji dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima selama pengujian dengan luas penampang benda uji. Mulyono (2006), mengemukakan bahwa kuat tekan beton mengidentifikasi mutu sebuah struktur di mana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Nilai kuat benda uji dapat dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata dan dinyatakan dengan dibulatkan ke 1 (satu) desimal dengan satuan 0,1 MPa (SNI 1974:2011), yang dinyatakan dalam persamaan (1)

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan pengertian:

Kuat tekan beton dengan benda uji silinder, dinyatakan dalam MPa atau N/mm²

P adalah gaya tekan aksial, dinyatakan dalam Newton (N)

A adalah luas penampang melintang benda uji, dinyatakan dalam mm²

Menurut SNI 1974 2011, mesin penguji yang digunakan harus berupa tipe yang memiliki kapasitas yang cukup dan mampu memberikan kecepatan beban secara konstan sebesar 1,3 mm/menit. Beberapa ketentuan peralatan mesin pengujian harus meliputi hal-hal sebagai berikut.

1. Mesin harus dioperasikan dengan tenaga listrik serta harus menggunakan pembebanan yang terus menerus dan tanpa kejut. Jika mesin hanya memiliki satu kecepatan pembebanan sesuai persyaratan pada 6.4, mesin harus dilengkapi dengan alat tambahan untuk pembebanan pada kecepatan beban yang sesuai untuk keperluan verifikasi. Alat tambahan untuk pembebanan ini dapat dioperasikan dengan tenaga listrik maupun secara manual;
2. Kehancuran silinder beton dengan kuat tekan tinggi, pada umumnya memiliki daya sebar pecahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan silinder beton dengan kuat tekan normal. Untuk keselamatan disarankan melengkapi alat uji dengan peralatan pelindung (semacam terali penutup di sekeliling benda uji);

3. Ruang yang disediakan untuk benda uji harus cukup luas memberikan tempat bagi alat kalibrasi, semacam alat kalibrasi elastis dengan kapasitas yang mencakup batasan beban yang mungkin terjadi pada mesin tekan serta sesuai dengan persyaratan. Alat kalibrasi harus ditempatkan pada posisi yang dapat dibaca. Tipe alat kalibrasi elastis yang umum tersedia dan yang umum digunakan adalah proving ring atau sel pembebanan (*load cell*).

Benda uji yang digunakan dalam pengujian kuat tekan beton ini ialah benda uji berbentuk silinder yang dimana terdapat beberapa ketentuan dalam pemilihan benda uji, sebagai berikut.

1. Benda uji tidak diperkenankan untuk diuji jika salah satu diameternya berbeda lebih dari 2% dengan diameter bagian lainnya dari benda uji yang sama. Hal ini dapat terjadi bila cetakan sekali pakai rusak atau berubah bentuk pada saat pemindahan, pada saat cetakan sekali pakai yang bersifat fleksibel berubah bentuk ketika pencetakan atau bila pengeboran inti bergeser waktu pengeboran.
2. Tidak satupun dari benda uji tekan diperkenankan berbeda dari posisi tegak lurus
3. Terhadap sumbu lebih dari 0,5' (kira-kira sama dengan 3 mm untuk setiap 300 mm). Ujung benda uji tekan yang tidak rata sebesar 0,050 mm harus dilapisi kaping, dipotong atau digosok sesuai dengan SNI 03-6369-2000, atau jika ujung-ujungnya memenuhi persyaratan, lapis neoprene dengan pengontrol baja dapat digunakan sebagai pelapis. Diameter yang digunakan untuk perhitungan luas penampang melintang dari benda uji harus ditetapkan mendekati 0,25 mm dari rata-rata 2 (dua) diameter yang diukur tegak lurus di tengah-tengah benda uji.
4. Jumlah silinder yang diukur untuk menetapkan diameter rata-rata dapat dikurangi
5. Menjadi 1 (satu) untuk 10 (sepuluh) benda uji atau 3 (tiga) benda uji per hari, pilih mana yang lebih besar, bila benda uji diketahui dibuat dari satu kelompok cetakan yang dapat digunakan kembali atau cetakan sekali pakai yang secara konsisten menghasilkan benda uji dengan diameter rata-rata dalam rentang 0,5

mm. Bila diameter rata-rata tidak di dalam rentang 0,5 mm atau bila silinder tidak dibuat dari satu kelompok cetakan, masing-masing silinder yang diuji harus diukur dan nilai ini harus digunakan dalam perhitungan kuat tekan satuan benda uji itu. Bila diameter diukur pada frekuensi yang dikurangi, luas penampang melintang yang diuji pada hari tersebut harus dihitung dari rata-rata diameter 3 (tiga) silinder atau lebih yang dianggap mewakili grup yang diuji hari tersebut.

6. Panjang harus diukur sampai mendekati $0,05 D$ (diameter penampang benda uji) bila perbandingan panjang terhadap diameter kurang dari 1,8 atau lebih dari 2,2, atau bila isi silinder ditetapkan dari dimensi yang diukur.
7. Panjang dan diameter benda uji silinder memiliki perbandingan tertentu dimana benda uji standar memiliki rasio $L/D \approx 1,8$ sampai dengan 2,2 dengan faktor koreksi = 1