

**TUGAS AKHIR**

**KUAT TEKAN BETON YANG MENGGUNAKAN SEMEN  
CAMPURAN DARI HASIL SAMPINGAN PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA UAP**

***COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE USING CEMENT  
REPLACEMENT FROM BY-PRODUCTS OF THERMAL  
POWER PLANT***

**FAHMI HIZBULLAH  
D011 18 1344**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**KUAT TEKAN BETON YANG MENGGUNAKAN SEMEN CAMPURAN  
DARI HASIL SAMPINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**FAHMI HIZBULLAH**

**D011 18 1344**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

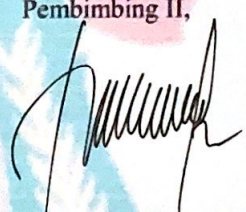
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,


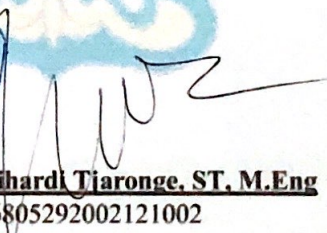
Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

  
**Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST, M.Eng**  
NIP: 197307122000032002

Ketua Program Studi,

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

### PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Fahmi Hizbullah, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"KUAT TEKAN BETON YANG MENGGUNAKAN SEMEN CAMPURAN DARI HASIL SAMPINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP"**, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan 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.

Gowa, 18 Oktober 2022

Yang membuat pernyataan,



Fahmi Hizbullah

D011 18 1344

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur senantiasa dipanjatkan kehadirat ALLAH SWT, karena ridho dan izinnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan mengangkat judul **“KUAT TEKAN BETON YANG MENGGUNAKAN SEMEN CAMPURAN DARI HASIL SAMPINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP”** yang merupakan salah satu syarat untuk diajukan agar dapat menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Kesadaran sepenuhnya akan banyaknya 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, ucapan terima kasih dihaturkan kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. **Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini

4. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas, ruang dan waktu untuk menyelesaikan penelitian ini.
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 persembahkan kepada:

1. **Kedua Orang Tua** tercinta, yaitu papa dan mama atas doa dan kasih sayangnya, dan segala bentuk dukungan sampai dengan saat ini, baik spritiual maupun material serta sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan agar semua dapat berjalan lancar.
2. **Keluarga** yang senantiasa memberikan doa dan dukungan dari awal hingga sampai pada saat ini.
3. **Apt. Mutiara R. N, S.farm.**, yang selalu hadir dalam setiap langkah, memberikan dukungan dan dorongan pada setiap pilihan serta ikut membantu memberikan masukan dan tanggapan agar semua berjalan dengan baik.
4. **Kak Teguh Priono S.T., Kak Muhammad Fadhly Burhanuddin S.T., dan semua kanda senior** yang telah membantu, mengajarkan dan mendukung setiap langkah yang dihadapi dalam berproses.

5. Keluarga dan Sahabat **WAKANDA** yaitu **Kendes, Kaco Kaddaro, Smith, Cudding dan Ipa** yang selalu ada, yang selalu mau untuk dibikin susah, yang tidak pernah membiarkan saya berjalan sendiri dan merangkul ketika saya terjatuh dan terpuruk.
6. Teman-teman terkasih di **Laboratorium Riset Eco Material** yang senantiasa ikut serta saling membantu dalam setiap tahapan dalam penelitian mulai dari pembuatan benda uji, pengujian, pengambilan data benda uji sampai pengolahan data dan penyusunan tugas akhir serta selalu memberikan semangat dan dukungan di setiap langkah untuk dapat terselesaikan dengan baik dan benar.
7. **Laboran** dan teman-teman **Asisten Laboratorium Struktur dan Bahan** yang selalu ada dalam setiap pengujian, ikut serta membantu dan mendukung dari segala arah dengan ikhlas agar tujuan dapat terfasilitasi dan terlaksana dengan baik.
8. Saudara-saudari **Transisi 2019** yang senantiasa memberikan doa dan dukungan yang begitu besar bukan hanya dalam penyelesaian tugas akhir ini akan tetapi dalam setiap cerita dari awal memasuki kampus Universitas Hasanuddin sampai berada dititik ini.

Penulis sangat menyadari bahwa tidak ada karya buatan manusia yang sempurna termasuk penelitian ini yang banyak sekali kekurangan, oleh karena itu harapan kepada semua yang terlibat dalam penelitian ini baik itu teman-teman yang membantu dan terkhusus bagi pembaca untuk dapat mengambil pelajaran dari kekurangan yang ada dan memberi sumbangan pemikiran berupa saran dan

arahan agar penelitian ini dapat mendekati kesempurnaan dan dan menjadi acuan yang diyakini kebenarannya bagi semua.

Dengan selesainya tugas akhir ini, semoga Allah SWT melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, kepada siapa saja khususnya yang berkaitan dengan bidang Teknik Sipil.

Gowa, 18 Oktober 2022

Penulis

# KUAT TEKAN BETON YANG MENGGUNAKAN SEMEN CAMPURAN DARI HASIL SAMPINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

**Fahmi Hizbullah**

*Mahasiswa S1 Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Alamat : Jl. Poros Malino Km. 14,5 Gowa  
Email : fahmi.hizbullah@gmail.com*

**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**

*Dosen Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Alamat : Jl. Poros Malino Km. 14,5 Gowa*

**Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., M.Eng**

*Dosen Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Alamat : Jl. Poros Malino Km. 14,5 Gowa*

## ABSTRAK

Batu bara ialah bahan utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang diolah untuk menghasilkan sumber daya dengan cara dibakar dan menyisihkan hasil sampingan berupa material-material yang terbang (*fly ash*) dan terendapkan (*bottom ash*). Dalam Peraturan Pemerintah yang ditetapkan dalam PP NO.22 Tahun 2021 material FABA merupakan limbah hasil sisa pembakaran PLTU menjadi limbah nonB3. Hal tersebut disebabkan karena pembakaran batubara di kegiatan PLTU dilakukan pada temperatur tinggi, sehingga kandungan unburnt carbon di dalam FABA menjadi minimum dan lebih stabil saat disimpan. Namun hingga sekarang ini, sebagian besar *fly ash* dan *bottom ash* disimpan di kolam penampungan. *Fly ash* dan *bottom ash* memiliki silika dalam jumlah yang banyak yang memiliki sifat pozolan dan memiliki kemiripan dengan unsur silika pada semen. Penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti atau tambahan semen dan pasir dapat mengurangi tumpukan limbah PLTU.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai campuran bahan substitusi dan kombinasi, menganalisis hasil modulus elastisitas dan pola retak yang timbul akibat diberikan beban pada sampel beton. Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode secara eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Penelitian dilakukan pada benda uji yang di *curing* selama 28 hari dan menggunakan beberapa variasi persentase campuran *fly ash* dan *bottom ash*.

Dalam penelitian ini, menunjukkan beberapa hasil diantaranya ialah hasil kuat tekan rata-rata tertinggi terdapat pada campuran beton Punagaya 30% FA (c) : 50% BA (s) yaitu sebesar 26,2825 Mpa. Akan tetapi, bila ditinjau dari nilai



regangan paling tinggi terdapat pada campuran beton Anggrek 100% BA (s). Jadi dapat disimpulkan bahwa walaupun campuran beton Punagaya 30% FA (c) : 50% BA (s) memiliki hasil nilai kuat tekan yang lebih besar akan tetapi memiliki sifat getas dan dapat dilihat pada pola retaknya.

**Kata Kunci** : Beton, *Fly ash* dan *bottom ash*, Kuat Tekan

### ABSTRACT

Coal is the main ingredient of Steam Power Plants (PLTU) which is processed to produce resources by burning and removing by-products in the form of flying ash and bottom ash. In the Government Regulation stipulated in PP NO.22 of 2021, FABA material is waste from the combustion of PLTU into non-B3 waste. This is because coal burning in PLTU activities is carried out at high temperatures, so that the unburnt carbon content in FABA is minimum and more stable when stored. However, until now, most of the fly ash and bottom ash are stored in holding ponds. Fly ash and bottom ash have a large amount of silica which has pozzolanic properties and has similarities to the silica element in cement. The use of fly ash and bottom ash as a substitute or addition of cement and sand can reduce the pile of PLTU waste.

The purpose of this study is to determine the compressive strength of concrete using fly ash and bottom ash as a mixture of substitution and combination materials, analyze the results of the modulus of elasticity and crack patterns that arise due to being given a load on the concrete sample. The research location was carried out at the Structure and Materials Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. The method used in this research is an experimental method carried out in the laboratory. The research was conducted on specimens that were cured for 28 days and used several variations in the percentage of fly ash and bottom ash mixtures.

In this study, several results showed that the highest average compressive strength was found in the Punagaya 30% FA (c) : 50% BA (s) concrete mixture, which was 26.2825 Mpa. However, when viewed from the highest strain value found in the 100% BA(s) Orchid concrete mixture. So it can be concluded that although the Punagaya 30% FA (c) : 50% BA (s) concrete mix has a higher compressive strength value, it has brittle properties and can be seen in the crack pattern.

Keywords: Concrete, Fly ash and bottom ash, Compressive Strength

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>BAB I     PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	6
1.5 Batasan Masalah .....	7
1.6 Sistematika Penulisan .....	8
<b>BAB II    TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Beton .....	10
2.2 Jenis-jenis Beton.....	13
2.3 Material Penyusun Beton .....	16
2.3.1 Semen.....	16
2.3.2 Agregat.....	18
2.3.3 Air .....	23
2.3.4 <i>Fly ash</i> dan <i>Bottom ash</i> .....	23

2.4 Sifat Mekanik Beton .....	37
2.4.1 Kuat Tekan Beton .....	38
2.4.2 Modulus Elastisitas .....	41
2.4.3 Pola retak dan Kehancuran.....	42

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Bagan Alir Penelitian .....	45
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	46
3.3 Jenis Penelitian dan Sumber Data.....	46
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	46
3.5 Benda Uji .....	48
3.6 Prosedur Penelitian.....	49
3.6.1 Pengujian Karakteristik Agregat .....	49
3.6.2 Pembuatan benda uji .....	50
3.6.3 Perawatan (curing) Benda Uji.....	55
3.6.4 Pengujian Beton .....	56
3.6.4.1 Kuat Tekan .....	59
3.6.4.2 Modulus Elastisitas .....	60

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Karakteristik Material .....	62
4.2 Karakteristik <i>fly ash</i> .....	64
4.3 Karakteristik <i>bottom ash</i> .....	66
4.4 Rancangan Campuran Beton ( <i>Mix Design</i> ).....	68
4.5 Pengujian <i>Slump Test</i> .....	69

4.6 Hubungan Tegangan dan Regangan Vertikal.....	73
4.7 Analisa Modulus Elastisitas .....	80
4.8 Pola Retak dan Kehancuran .....	81

## **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran .....	95

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Syarat fisika semen <i>Portland</i> komposit .....	17
Tabel 2.2	Perbandingan sifat fisik <i>fly ash</i> dan semen <i>Portland</i> .....	32
Tabel 2.3	Perbandingan sifat kimia <i>fly ash</i> dan semen <i>Portland</i> .....	33
Tabel 2.4	Sifat fisik khas <i>Bottom ash</i> .....	37
Tabel 3.1	Pemeriksaan Agregat Halus .....	49
Tabel 3.2	Pemeriksaan Agregat Kasar .....	49
Tabel 3.3	Pemeriksaan <i>Fly ash</i> .....	49
Tabel 3.4	Pemeriksaan <i>Bottom ash</i> .....	50
Tabel 3.5	Jumlah Benda Uji .....	50
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat halus .....	62
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat kasar .....	63
Tabel 4.3	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis <i>Fly ash</i> .....	64
Tabel 4.4	Komposisi kimia <i>Fly ash</i> .....	65
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Karakteristik <i>Bottom ash</i> .....	66
Tabel 4.6	Komposisi kimia <i>Bottom ash</i> .....	67
Tabel 4.7	Rancangan campuran beton .....	69
Tabel 4.8	Nilai hasil tegangan-regangan mix id <i>control</i> .....	74
Tabel 4.9	Nilai hasil tegangan-regangan mix id 30% FA : 50% BA.....	75
Tabel 4.10	Nilai hasil tegangan-regangan mix id 30% FA : 100% BA.....	76
Tabel 4.11	Nilai hasil tegangan-regangan mix id 100% BA.....	77
Tabel 4.12	Nilai hasil tegangan-regangan mix id 50% BA.....	78
Tabel 4.13	Nilai hasil tegangan-regangan mix id 100% BA.....	79

Tabel 4.14 Hasil Rekapitulasi Kuat Tekan.....	79
Tabel 4.15 Modulus Elastisitas.....	80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	<i>Coal Fire Thermal Power Plant</i> .....	2
Gambar 2	Penerapan beton pada elemen bangunan .....	12
Gambar 3	Proses terbentuknya <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> .....	36
Gambar 4	Hubungan tegangan-regangan .....	42
Gambar 5	Pola retak dan kehancuran.....	43
Gambar 6	Bagan Alir Pengujian .....	45
Gambar 7	Material Bahan Campuran Beton.....	47
Gambar 8	Desain Benda Uji Silinder .....	48
Gambar 9	Proses pembuatan bend uji .....	51
Gambar 10	Proses <i>curing</i> benda uji .....	55
Gambar 11	Pengujian kuat tekan .....	56
Gambar 12	Posisi Alat dan Sampel.....	59
Gambar 13	Pengujian kuat tekan .....	61
Gambar 14	Analisa saringan gradasi pasir .....	63
Gambar 15	Morfologi <i>Fly ash</i> .....	65
Gambar 16	Analisa saringan gradasi <i>bottom ash</i> .....	66
Gambar 17	Morfologi <i>Bottom ash</i> .....	68
Gambar 18	<i>Slump test mix id</i> 30% FA : 50% BA.....	70
Gambar 19	<i>Slump test mix id</i> 30% FA : 100% BA.....	70
Gambar 20	<i>Slump test mix id</i> 100% BA.....	71
Gambar 21	<i>Slump test mix id</i> 50% BA.....	71

Gambar 22	<i>Slump test mix id 100% BA</i> .....	72
Gambar 23	<i>Slump test mix id control</i> .....	72
Gambar 24	Grafik tegangan-regangan <i>mix id control</i> .....	73
Gambar 25	Grafik tegangan-regangan <i>mix id 30% FA : 50% BA</i> .....	74
Gambar 26	Grafik tegangan-regangan <i>mix id 30% FA : 100% BA</i> .....	75
Gambar 27	Grafik tegangan-regangan <i>mix id 100% BA</i> .....	76
Gambar 28	Grafik tegangan-regangan <i>mix id 50% BA</i> .....	77
Gambar 29	Grafik tegangan-regangan <i>mix id 100% BA</i> .....	78
Gambar 30	Sampel beton Punagaya 30% FA : 50% BA .....	82
Gambar 31	Sampel beton Punagaya 30% FA : 100% BA .....	84
Gambar 32	Sampel beton Punagaya 100% BA .....	86
Gambar 33	Sampel beton Anggrek 50% BA.....	88
Gambar 34	Sampel beton Anggrek 100% BA.....	90
Gambar 35	Sampel beton <i>control</i> .....	92



## BAB I

### PENDAHULUAN

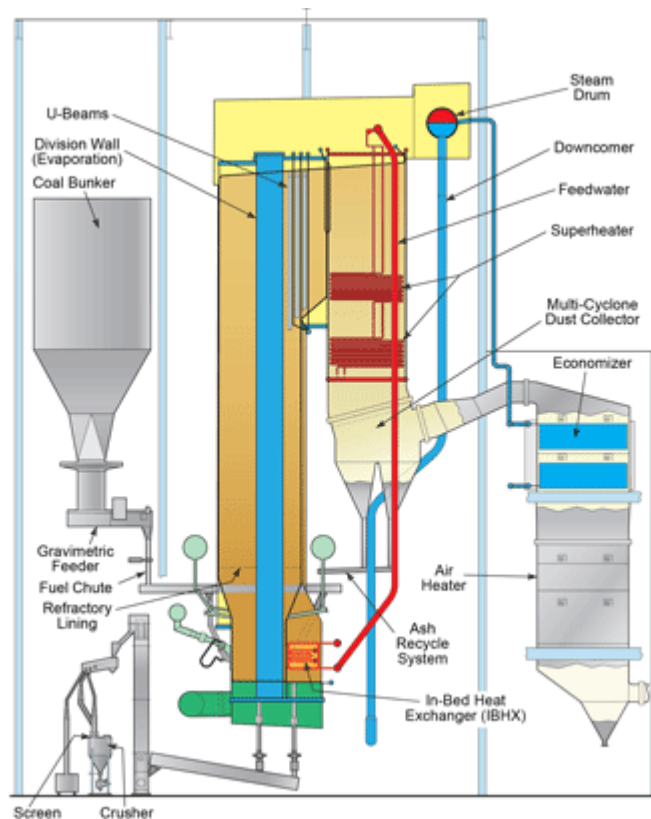
#### 1.1 Latar Belakang

*Coal Fire Thermal Power Plant* adalah model Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mengolah air demineral menjadi uap air kering (*saturated steam*) untuk memutar *turbin* dan membangkitkan *generator* berkapasitas tertentu. Dimana air dimasak dalam bejana yang disebut *steam drum* dan dipanaskan dalam tungku pemanas (*furnace*) yang berbahan bakar batu bara sebagai bahan bakar utamanya. Sistem pemanasan ini didunia keteknikan disebut sebagai *boiler*.

Proses tersebut dapat terjadi karena sistem pembakaran yang baik dari desain sistem pada tungku pemanas (*furnace*). Dalam sistem pembakaran tersebut CFB (*circulating fluidized bed*) *Boiler* menggunakan batu bara sebagai umpan utamanya. Dari proses pembakaran batu bara inilah terbentuk limbah padat yang berupa *fly ash* dan *bottom ash*.

- ***Circulating*** : Terjadinya sirkulasi batu bara yang belum habis terbakar dari *furnace* ke *cyclone* kemudian masuk ke *sealpot* dan kembali ke *furnace*.
- ***Fluidized*** : Penghembusan udara *primer* untuk menjaga material *bed* dan batu bara tetap melayang di dalam *furnace*.

- **Bed** : Material-material berupa partikel kecil ( pasir kuarsa, *bottom ash* ) yang digunakan sebagai media awal pemindahan panas dari pembakaran HSB ke pembakaran batu bara ( 100 ton )



**Gambar 1.** Sumber : <https://www.babcock.com/>

Menurut Misbachul, (2008:12) *fly ash* adalah abu batu bara yang sangat halus yang berasal dari aktifitas pembakaran batu bara di dalam *furnace* dari suatu *boiler* pembangkit. *Fly Ash* banyak mengandung mineral yang mengandung mineral anorganik seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang dapat mencemari lingkungan, seperti pencemaran udara dan pencemaran tanah. *Bottom Ash* adalah abu yang terbentuk dari proses pembakaran di dalam *furnace* yang berupa padatan yang tidak terbawa oleh *flue gas*. Dalam sistem CFB, *bottom ash* adalah campuran antara abu batu bara, pasir kuarsa dan pecahan-pecahan dinding *furnace* yang

terkikis selama proses pembakaran berlangsung. Volume yang sangat banyak juga menimbulkan masalah baru, karena membutuhkan banyak ruang untuk menampungnya. Butuh tempat yang sangat luas untuk tempat penimbunan abu.

Abu tersebut perlu dimanfaatkan kembali menjadi bahan yang berguna sehingga volume abu dapat berkurang. Diperlukan inovasi untuk memberi nilai tambah (*add value*) abu ini menjadi bahan yang bisa dimanfaatkan kembali baik sebagai bahan utama ataupun bahan campuran bahan-bahan bangunan. Pemanfaatan *fly ash* telah banyak dilakukan, diantaranya adalah pemanfaatan sebagai bahan pengganti agregat dalam produksi paving block.

Dalam penelitian ini terdapat beberapa rencana campuran bahan pembuatan beton yang tentunya memanfaatkan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi atau kombinasi semen dan pasir. Hal ini sangat memungkinkan bila mengetahui karakteristik dari *fly ash* dan *bottom ash*. Dengan demikian terdapat beberapa pengujian untuk diidentifikasi kerakteristiknya sebelum digunakan dalam pembuatan sampel beton yang nantinya akan diuji kuat tekan dan hasil lain yang diperoleh dalam pengujian.

Dari informasi yang terkumpul, dengan adanya potensi pada limbah hasil pembakaran batu bara PLTU yang begitu banyak maka muncul ide untuk menggunakan limbah tersebut yang mana *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan pencampuran beton, yang pada penelitian ini digunakan *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Punagaya yang lokasinya terletak di Punagaya, Bangkala, Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan dan PLTU Anggrek yang terletak di Ilangata, Kec. Anggrek, Kabupaten Gorontalo Utara, Gorontalo.

Limbah hasil pembakaran batu bara PLTU ini sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Dimana banyak penelitian sebelumnya yang membahas tentang kaitan *fly ash* dan *bottom ash* dengan hasil kuat tekan beton yang didapatkan menyimpulkan bahwa pemanfaatan limbah PLTU tersebut dapat sangat bermanfaat dan menguntungkan bukan hanya dalam mengurangi volume limbah hasil pembakaran batu bara akan tetapi juga dapat digunakan untuk pembuatan bahan bangunan baik itu sebagai bahan pengganti utama ataupun bahan campuran.

Salah satu beban yang akan dipikul oleh beton adalah beban tekan. Perilaku tegangan regangan yang terjadi pada suatu material termasuk beton ketika merespons beban tekan merupakan parameter yang penting untuk diketahui.

Telah umum diketahui bahwa *fly ash* dapat menggantikan semen akan tetapi pengetahuan mengenai substitusi ataupun kombinasi terkait penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* hasil sampingan pembangkit listrik tenaga uap sebagai semen dan agregat halus masih terbatas.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukanlah penelitian dengan judul:

**“KUAT TEKAN BETON YANG MENGGUNAKAN SEMEN CAMPURAN  
DARI HASIL SAMPINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP”**

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terkait, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu:

1. Bagaimana kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi ataupun kombinasi dari semen dan agregat halus ?
2. Bagaimana hubungan tegangan-regangan beton yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi ataupun kombinasi dari semen dan agregat halus ?
3. Bagaimana pola retak yang terbentuk dari beton yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi ataupun kombinasi dari semen dan agregat halus ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang terkait, maka tujuan penelitian dari penelitian antara lain :

1. Untuk menganalisis kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi ataupun kombinasi dari semen dan agregat halus.
2. Untuk menganalisis hubungan tegangan-regangan beton yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi ataupun kombinasi dari semen dan agregat halus.

3. Untuk menganalisis pola retak yang terbentuk dari beton yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan substitusi ataupun kombinasi dari semen dan agregat halus.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Diharapkan penelitian ini bermanfaat untuk :

1. Dapat dijadikan sebagai acuan dan informasi para peneliti dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan pencampuran beton dengan menggunakan limbah hasil pembakaran batu bara PLTU.
2. Mengurangi volume limbah dari hasil pembakaran batu bara PLTU dan pencemaran lingkungan.
3. Inovasi yang terjangkau dalam bidang pembangunan bangunan.
4. Mengetahui hasil yang diperoleh dalam pengujian seperti karakteristik, kuat tekan, dan pola retak beton yang menggunakan *fly ash* dan *bottom ash*.
5. Sebagai referensi bagi pekerja konstruksi yang ingin memanfaatkan limbah hasil pembakaran batu bara untuk dijadikan campuran beton.
6. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi acuan dan informasi pada pelaksanaan dalam pembuatan beton.

## 1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan sasaran yang ingin dicapai, maka penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Menggunakan limbah hasil pembakaran batu bara PLTU Punagaya, Bangkala, Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan dan PLTU Anggrek Ilangata, Kec. Anggrek, Kabupaten Gorontalo Utara, Gorontalo.
2. Menggunakan *fly ash* kelas F dan *bottom ash* kelas C yang masing-masing rendah kalsium.
3. Menggunakan Semen Portland Komposit (PCC) dalam pencampuran beton.
4. Mix id yang digunakan untuk PLTU Punagaya terbagi menjadi 3 yaitu :
  - 30% FA (c) : 50% BA (s)
  - 30% FA (c) : 100% BA (s)
  - 100% BA (s)

Dan untuk PLTU Anggrek terbagi menjadi 2 yaitu :

- 50% BA (s)
  - 100% BA (s)
5. Perawatan dengan curing air tawar selama 28 hari.
  6. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan pada umur 28 hari dengan benda uji berbentuk silinder diameter 10 *cm* dan tinggi 20 *cm*.
  7. Penelitian ini tidak membandingkan hasil kuat tekan antara beton yang menggunakan fly ash dan bottom ash dengan beton normal.

8. Pengujian dilakukan di Laboratorium yang sesuai dengan standar resmi (ASTM dan SNI) sehingga akan didapatkan hasil pengujian-pengujian yang diharapkan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan dan diakhiri oleh Kesimpulan dan Saran.

Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut di atas:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menyajikan hal - hal mengenai latar belakang masalah, maksud dan tujuan penulisan, rumusan masalah, ruang lingkup dan batasan masalah serta sistematika penulisan yang berisi tentang penggambaran secara garis besar mengenai hal - hal yang dibahas dalam bab - bab berikutnya.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan tentang kerangka konseptual yang memuat beberapa penulisan sebelumnya yang berkaitan dengan beton, material penyusun beton yaitu semen, agregat serta air, sifat - sifat mekanis beton dan penjelasan mengenai kuat tekan beton.



### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini memuat bagan alir penelitian, tahap - tahap yang dilakukan selama penelitian meliputi alat dan bagan yang digunakan, lokasi penelitian, *mix design*, pembuatan benda uji, perawatan benda uji dan pengujian kuat tekan benda uji beton.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian diantaranya adalah hasil pemeriksaan karakteristik agregat, pengujian kuat tekan beton, analisa modulus elastisitas beton dan pola retak terhadap benda uji silinder berukuran 100 mm x 200 mm.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai analisa hasil yang diperoleh saat penelitian dan disertai dengan saran - saran yang diusulkan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 BETON

Beton (*Concrete*) adalah campuran semen *portland* atau semen *hidrolis* lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). (SNI 2847:2019)

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air. Campuran ini kemudian akan membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, agar memudahkan dalam pengerjaan (*workability*), *durabilitas* serta waktu pengerasan (Mc.Cormac, 2004).

Beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan *pozzolan*, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (Neville dan Brooks, 1987).

Dalam Teknologi Beton, Kardiono Tjokrodinuljo (2007), beton pada dasarnya adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta kadang-kadang ditambahkan *additive*.

Material beton merupakan salah satu material penting yang sering digunakan pada pembangunan infrastruktur di Indonesia. Beton pada dasarnya adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta kadang-kadang ditambahkan *additive*. Beton merupakan campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar dan air yang dicampur menjadi massa padat dengan ataupun tanpa bahan tambah. Untuk mendapatkan campuran beton yang baik harus memperhatikan beberapa hal, antara lain:

- pemilihan bahan pembentuk beton,
- proses pemadatan beton segar
- proses perawatan beton.

Beton polos didapat dengan mencampurkan semen, agregat (*aggaregate*) halus, agregat kasar, air dan kadang-kadang campuran lain. Kekuatan beton tergantung dari banyak faktor proporsi dari campuran dan kondisi temperatur dan kelembaban dari tempat dimana campuran diletakkan dan mengeras. Beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen *hidraulik* yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk masa padat, sedangkan yang dimaksud beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi (2200-2500) kg/m<sup>3</sup>. Terdapat juga agregat halus (pasir) alam sebagai hasil *disintegrasi* secara alami dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm, sedangkan agregat kasar (kerikil) sebagai hasil disintegrasi dari batuan atau berupa batu pecah yang

diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986).

Beton adalah material yang dibuat dari campuran agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah), air dan semen *Portland* atau bahan pengikat *hidrolis* yang lain yang sejenis, dengan menggunakan atau tidak menggunakan bahan tambah lain (SNI-03-2834-2000)



a. Kolom



b. Pile cap dan tie beam



c. Plat

**Gambar 2.** Penerapan beton pada elemen bangunan ( dokumentasi pribadi )

## 2.2 JENIS-JENIS BETON

Berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi 6 jenis, yaitu:

a. Beton Ringan

Beton, ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan densitas setimbang (*equilibrium density*), sebagaimana ditetapkan oleh ASTM C567, antara 1140 dan 1840 kg/m<sup>3</sup>.(SNI 03 2847 2019)

- b. Beton normal merupakan bahan yang cukup berat, dengan berat sendiri mencapai 2400 kg/cm<sup>3</sup>. Untuk mengurangi beban mati pada suatu struktur beton maka telah banyak dipakai jenis beton ringan. Menurut Standar Nasional Indonesia 03-2847 2019, beton dapat digolongkan sebagai beton ringan jika beratnya kurang dari 1900 kg per meter kubik. Nawy (2003) menyebutkan bahwa kuat tarik beton ringan pada umumnya lebih kecil bila dibandingkan dengan beton normal.

c. Beton Bertulang

Beton bertulang adalah jenis beton yang di dalamnya ditanami tulangan baja untuk meningkatkan kekuatan beton. Tulangan baja yang ditanami di dalamnya membuat beton jenis ini memiliki daya tarik yang lebih kuat dari beton biasa. Oleh karena itu, beton bertulang seringkali digunakan untuk konstruksi pondasi dalam, balok ikat, kolom, balok plat beton, dan dinding geser. (SNI 03 2847 2019)

d. Beton Pra Tegang

Menurut ACI (American Concrete Institute), beton prategang merupakan beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal.

Dalam definisi lain, menurut Draft Konsensus Pedoman Beton 1998, beton prategang adalah beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam akibat beban kerja. Beton prategang juga dapat didefinisikan sebagai beton bertulang dimana tegangan tariknya pada kondisi pembebanan tertentu dengan nilai dan pembagian yang sedemikian rupa sampai batas aman dengan pemberian gaya tekan permanen, dan baja prategang yang digunakan untuk keperluan ini ditarik sebelum beton mengeras (pratarik) atau setelah beton mengeras (pascatarik).

Beton prategang sebenarnya termasuk jenis beton bertulang. Namun, pada pembuatan beton prategang, baja yang ditanamkan di dalam beton harus ditegangkan terlebih dahulu. Hal inilah yang membuat beton jenis ini disebut beton prategang. Tujuan peregangan baja tersebut adalah agar beton tidak retak meskipun ditimpa beban yang berat. Oleh karena itu, beton prategang seringkali digunakan untuk menyangga struktur bangunan yang berukuran lebar.

e. Beton Pracetak

Menurut SNI 7833-2012 bahwa beton pracetak adalah SNI beton yang berupa material konstruksi dengan komponen pembentuknya dicetak atau

difabrikasi. Pengolahannya bisa di lahan produksi ataupun di lapangan yang kemudian dipasang di lapangan sehingga membentuk sebuah bangunan

Beton pracetak adalah beton yang dicetak sesuai dengan ukuran tertentu. Beton jenis ini dicetak terlebih dahulu di lokasi lain sebelum dibawa ke tempat konstruksi. Tujuan utama pencetakan dilakukan sebelum waktu konstruksi adalah untuk menjaga kualitas beton dan mengantisipasi kondisi di tempat konstruksi yang tidak memungkinkan, seperti lokasi yang sempit dan kurangnya tenaga kerja. Selain itu, penggunaan beton pracetak juga bermanfaat untuk mempercepat proses pengerjaan pembangunan. Contoh hasil produk beton pracetak yang tersedia adalah tangga, panel pagar dan lain-lain.

f. Beton Ready Mix

Beton siap pakai adalah beton yang dirancang sesuai mutu tertentu, dan dapat digunakan untuk pembangunan berbagai konstruksi seperti industri, komersial, dan infrastruktur seperti pembangunan gedung bertingkat, perumahan, jalan raya, dan pembangunan lainnya.

Menurut SNI 03-4433-1997 beton ready mix adalah beton yang dicampur dalam suatu mesin pengaduk *stationer* atau dalam truk pengaduk dan diserahkan kepada konsumen beton dalam keadaan segar.

## 2.3 MATERIAL PENYUSUN BETON

### 2.3.1 Semen

Semen (menurut SNI 1971:2011) merupakan bahan pengikat *hidrolik*, yaitu bahan *anorganik* yang ditumbuk halus dan ketika bercampur dengan

air, dengan menggunakan reaksi dan proses *hidrasi* membentuk pasta yang mengikat dan mengeras, setelah mengeras, tetap mempertahankan kekuatan dan stabilitasnya meskipun di dalam air.

Salah satu jenis semen yang banyak digunakan dibidang konstruksi adalah ***Portland Cement Composite***. Semen PCC atau *Portland Composite Cement* atau Semen Portland Composite, adalah semen Portland yang masuk kedalam kategori *Blended Cement* atau semen campur. Semen campur ini dibuat atau didesign karena dibutuhkannya sifat-sifat tertentu yang mana sifat tersebut tidak dimiliki oleh semen portland tipe I. Untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu pada semen campur maka pada proses pembuatannya ditambahkan bahan aditif seperti *Pozzolan, Fly ash, silica fume* dll.

Menurut SNI 15-7064-2004 maka definisi Semen Portland Komposit, adalah bahan pengikat hidrolisis hasil penggilingan bersama-sama terak semen *portland* dan *gyps* dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain Terak Tanur Tinggi (*Blast Furnace Slag*), *pozzolan*, senyawa *silicat*, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6 % – 35 % dari massa semen *Portland* komposit.

Syarat kimia untuk semen *Portland* komposit, kandungan  $SO_3$  maksimum 4%, komposisi kimia yang lain sama dengan komposisi kimia semen *Portland*. Sedangkan syarat fisika semen *Portland* komposit dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.



**Tabel 2.1.** Syarat fisika semen *Portland* komposit

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1.	Kehalusan dengan alat blaine	m <sup>2</sup> /kg	Min.280
2.	Kekekalan bentuk dengan autoclave:		
	Pemuaian	%	Maks. 0,8
	Penyusutan	%	Maks. 0,2
3.	Waktu pengikatan dengan alat vikat:		
	Pengikatan awal	Menit	Min.45
	Pengikatan akhir	Menit	Maks.375
4.	Kuat tekan:		
	Umur 3 hari	Kg/cm <sup>2</sup>	Min.125
	Umur 7 hari	Kg/cm <sup>2</sup>	Min.200
	Umur 28 hari	Kg/cm <sup>2</sup>	Min.250
5.	Pengikatan semu:		
	Penetrasi akhir	%	Min.50
6.	Kandungan udara dalam beton	% volume	Maks.12

(Sumber : SNI 15-7064-2004)

Klinker semen *Portland* mengandung empat senyawa kimia utama, yang disebut dengan mineral-mineral klinker yaitu :

1. C<sub>3</sub>S atau 3CaO.SiO<sub>2</sub> disebut *Trikalsium silikat*
2. C<sub>2</sub>S atau 2CaO.SiO<sub>2</sub> disebut *Dikalsium silikat*
3. C<sub>3</sub>A atau 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> disebut *Trikalsium aluminat*
4. C<sub>4</sub>AF atau 4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> disebut *Tetrakalsium aluminoferrit*.

• Sifat-sifat yang dimiliki Semen *Portland Cement Composite* :

1. Mempunyai panas hidrasi rendah sampai sedang

2. Tahan terhadap serangan sulfat
3. Kekuatan tekan awal kurang, namun kekuatan akhir lebih tinggi

Ditinjau dari sifat yang dimiliki oleh Semen PCC maka semen tersebut dapat digunakan sebagai alternatif atau pengganti semen portland tip II,IV atau V.

### **2.3.2 Agregat**

Ada dua jenis agregat menurut Nawy (1990), yaitu:

- a. agregat kasar (kerikil, batu pecah, atau pecahan-pecahan dari blastfurnace),
- b. agregat halus (pasir alami dan buatan).

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortal atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortal atau beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton, (Tjokrodimuljo, 2007).

Agregat merupakan komponen utama beton. Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan komposit dalam campuran beton. Agregat ini kira-kira menempati 60% - 75% volume beton. Sifat yang paling penting dalam agregat adalah kekuatan hancur dan berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang

dipecah dan limbah marmer. Agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

- **Agregat Kasar**

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil dari disintegrasi alami batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. (SNI 03-2847-2019). Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi  $\frac{1}{4}$  in.(6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen (Nawy, E. G. 2010).

Agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 4,75 mm. Agregat kasar juga disebut kerikil, batu pecah, ataupun split. Adapun karakteristik agregat kasar yang perlu diperhatikan diantaranya :

- a. Gradasi Agregat Kasar adalah distribusi dari ukuran agregat atau proporsi dari macam-macam ukuran butir agregat berdasarkan analisa saringan.
- b. Modulus Halus Butir (MHB), spesifikasi modulus halus butiran agregat kasar, yaitu 5,5%-8,5%.
- c. Absorpsi dan Berat Jenis (*specific gravity*), spesifikasi agregat untuk beton normal adalah berat jenis agregat kasar yaitu 1,60– 3,20 kg/liter.

- d. Berat volume agregat kasar, spesifikasi berat volume agregat kasar, yaitu 1,6-1,9 kg/liter.
- e. Kadar Air Agregat Kasar, spesifikasi kadar air agregat kasar, yaitu 0,5%-2,0%.
- f. Persentase Keausan, spesifikasi keausan agregat beton, yaitu 15%-50%.

Agregat kasar pada umumnya berbutir lebih besar dari 4,80 mm, contoh agregat kasar seperti, kerikil, kericak, batu pecah, atau split. Kerikil sebagai hasil desintregasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecahan batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Menurut (SNI 03-2847-2019), bahwa agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang akan dipakai untuk membuat campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut ini :

- a. Kerikil atau batu pecah harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori serta mempunyai sifat kekal (tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan). Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali jika agregat kasar digunakan untuk membuat beton yang akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah. Agregat yang reaktif terhadap alkali boleh untuk membuat beton dengan semen yang kadar alkalinya dihitung setara *Natrium Oksida* tidak lebih dari 0,6 %, atau dengan

menambahkan bahan yang dapat mencegah terjadinya pemuaian yang dapat membahayakan oleh karena reaksi alkali agregat tersebut.

- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton seperti bahan-bahan yang reaktif sekali dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan NaOH.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan apabila mengandung lebih dari 1%, agregat kasar tersebut harus dicuci.
- e. Ukuran butir agregat kasar maksimum tidak boleh lebih daripada  $\frac{1}{5}$  jarak terkecil antarbidang-bidang samping cetakan,  $\frac{1}{3}$  dari tebal pelat beton,  $\frac{3}{4}$  dari jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

#### - Agregat Halus

Menurut SNI 03-2847-2019 agregat halus adalah butiran halus yang memiliki kehalusan 2mm - 5mm. Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton ataupun batako. Pasir merupakan bahan pengisi yang digunakan dengan semen untuk membuat adukan. Selain itu juga pasir berpengaruh terhadap sifat tahan susut, keretakan dan kekerasan pada batako atau produk bahan bangunan campuran semen lainnya.

Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Agregat halus juga disebut dengan pasir. Adapun syarat-syarat halus

yang baik digunakan untuk bahan campuran beton normal menurut (Mulyono, 2005) antara lain:

- a. Modulus halus butir 1.5 sampai 3.8.
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074mm) maksimal 5%.
- c. Kadar zat organik yang terkandung yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat ( $\text{NaSO}_4$ ) 3%, jika dibandingkan dengan warna standar / pembanding tidak lebih tua dari pada warna standar.
- d. Kekerasan butiran jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa Bangka memberikan angka tidak lebih dari 2.20.
- e. Kekekalan (jika diuji dengan *natrium sulfat* bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika di pakai *magnesium sulfat* bagian yang hancur maksimum 15%).

### 2.3.3 Air

Air adalah bahan dasar pembuatan beton yang paling murah. Fungsi air dalam pembuatan beton adalah untuk membuat semen bereaksi dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat. Untuk membuat semen bereaksi hanya dibutuhkan air sekitar 25-30 persen dari berat semen. Tetapi pada kenyataan dilapangan apabila faktor air semen (berat air dibagi berat semen) kurang dari 0,35 maka adukan sulit dikerjakan, sehingga umumnya faktor

air semen lebih dari 0,40 yang mana terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen. Kelebihan air inilah yang berfungsi sebagai pelumas agregat, sehingga membuat adukan mudah dikerjakan. Tetapi seiring dengan semakin mudahnya pengerjaan, maka akan menyebabkan beton menjadi porous atau terdapat banyak rongga, maka kuat tekan beton itu sendiri akan menurun (tjokrodimulyo :2007).

#### **2.3.4 Fly Ash dan Bottom Ash**

Dalam penelitian ini, bahasan utama terdapat pada *fly ash* dan *bottom ash* dimana masing-masing menjadi bahan substitusi ataupun kombinasi dari semen dan pasir.

##### **a. Fly Ash**

###### **- Penelitian Terdahulu**

Menurut (A. Fuzail Hashmi , dkk 2021) dalam penyelidikan eksperimental dan analitik saat ini, efek yang bergantung pada usia pada kompresi kekuatan, modulus elastisitas, dan perilaku jangka panjang beton yang mengandung *fly ash* kelas F telah dipelajari. Campuran beton *fly ash* dibuat dengan cara mengganti semen dengan *fly ash* pada kisaran 25% sampai 60% dengan berat setara. Sebanyak delapan campuran yang berbeda dari beton polos dan *fly ash* telah disiapkan. Itu kekuatan dalam kompresi dan modulus elastisitas statis diukur secara eksperimental pada usia yang berbeda bervariasi dari 7 sampai 180 hari pada benda uji silinder untuk semua campuran beton. Beton bertulang (RC) balok yang mengandung *fly ash* dengan ukuran keseluruhan 100, 150, 1800 mm (B

D L) juga dilemparkan untuk mengamati *defleksi* mulur dan susut di bawah beban berkelanjutan tingkat tegangan 50%. Studi struktur mikro menggunakan pemindaian mikroskop elektron bersama dengan spektroskopi sinar-X dispersif pada semua abu polos dan *fly ash* campuran beton juga telah dilakukan. Beton yang memiliki kadar *fly ash* 40% menunjukkan hasil yang memuaskan kinerja pada usia lanjut (yaitu di luar 28 hari) dalam hal kekuatan, modulus elastisitas, dan defleksi. Telah diamati bahwa perolehan kekuatan dari 28 hingga 180 hari lebih banyak pada beton *fly ash* daripada beton polos. Keuntungan dalam defleksi rangkai dan susut dari 28 menjadi 180 hari berkurang pada balok beton *fly ash*.

Dengan demikian, penggunaan *fly ash* yang efektif dalam beton meningkatkan sifat mekanik karena perilaku pozzolannya. Penilaian model yang ada pada prediksi kuat tekan dan modulus elastisitas statis telah dilakukan. Model baru untuk prediksi kompresi yang bergantung pada usia kekuatan dan modulus elastisitas beton yang mengandung berbagai persentase *fly ash* telah diusulkan. Studi eksperimental dan analitis saat ini dapat berguna untuk berlatih insinyur dan desainer dalam desain struktur beton yang mengandung *fly ash* kalsium rendah untuk konstruksi berkelanjutan.

Menurut (Abu Sayed Mohammad Akid, dkk 2021) dalam penelitian ini, semen sebagian diganti 15% dan 30% berat konten *fly ash* sedangkan serat *polipropilen* tergabung dalam campuran beton pada



0,06%, 0,12% dan 0,18% berdasarkan volume. Dua belas proporsi campuran beton dikembangkan dan kemerosotan, kepadatan, bola Uji penetrasi dan faktor pemadatan dilakukan untuk memeriksa sifat beton segar. Selain itu, karakteristik mekanik, termasuk kuat tekan uniaksial dan kuat tarik belah beton dievaluasi pada hari ke 7, 28 dan 90. Tes lebih lanjut dari daya tahan beton, termasuk klorida cepat uji permeabilitas, daya serap dan penetrasi air dilakukan pada umur 90 hari. Hasilnya menunjukkan bahwa penggabungan *fly ash* mengembangkan sifat beton segar, sedangkan serat *polypropylene* menurun karakteristik segar beton. Selanjutnya, kombinasi *fly ash* dan serat polipropilen dalam beton secara substansial dicapai untuk meningkatkan karakteristik mekanik dan daya tahan dibandingkan ke campuran kontrol. Proporsi campuran 15% fly ash dan 0,12% serat polipropilen menunjukkan hasil yang nyata pengaruh terhadap kuat tekan, permeabilitas klorida, daya serap dan penetrasi air dibandingkan dengan campuran beton lainnya.

Menurut ( Mark Reiner dkk, 2006 ) meskipun *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen telah digunakan selama bertahun-tahun, hampir secara eksklusif digunakan dipersentase volume rendah, seperti penggantian semen 10% atau 20%. Sebuah studi minimix mengungkapkan bahwa persentase penggantian semen 50% dan 60% adalah kandidat terbaik untuk pengujian skala penuh. Itu manfaat lingkungan termasuk pengurangan 25% dalam kabut asap, efek kesehatan manusia, dan penggunaan bahan bakar fosil dibandingkan

dengan elemen yang sama yang dibangun dengan campuran 100% semen Portland. Manfaat ekonomi termasuk pengurangan biaya modal 15% dan pengurangan biaya siklus hidup 20% ketika dibandingkan dengan campuran semen Portland 100%. Pengujian skala penuh termasuk desain campuran lengkap di samping konstruksi empat produk infrastruktur beton. Produk yang dibangun meliputi panel gang dan trotoar, dan bagian selokan di Kota dan Kabupaten Denver, lubang got dan penutup pracetak, dan gelagar pratekan twin-tee.

Menurut ( Cengiz Duran Atis dkk, 2009 ) dalam penelitian eksperimental ini, pengaruh penggunaan *fly ash*, serat *polipropilen*, dan serat baja pada beton terhadap ketahanan abrasi ditunjukkan. Tujuh campuran beton yang mengandung (0, 10, 15, 20, 25, 30, dan 45)% *fly ash* sebagai pengganti semen secara massal telah siap.

Ketujuh campuran beton semen portland yang diperkuat serat mengandung serat baja 0,25, 0,5, 1, dan 1,5%, dan 0,05, 0,1 dan serat polipropilen 0,2% dalam basis volume disiapkan. Ketujuh campuran beton semen *Portland* yang diperkuat serat ini adalah dimodifikasi dengan mengganti 15% dan 30% *fly ash* dengan semen secara massal, akibatnya, 14 campuran beton *fly ash* diperkuat serat siap. Rasio pengikat air dijaga konstan pada 0,35 untuk semua campuran beton. Abrasi permukaan bohme dari campuran beton adalah diukur pada 28 hari. Hasil kerja laboratorium menunjukkan bahwa penggantian *fly ash* dengan semen mengurangi ketahanan abrasi konkret namun, penyertaan serat

baja meningkatkan ketahanan abrasi beton. Menggunakan serat *polipropilen* tidak membaik ketahanan abrasi beton yang dibuat dengan atau tanpa *fly ash*. Perbandingan antara hubungan abrasi terhadap kuat tekan dan abrasi terhadap kekuatan tarik lentur menunjukkan bahwa ada hubungan yang lebih kuat antara abrasi dan kuat tarik lentur dibandingkan antara abrasi dan kuat tekan beton yang mengandung *fly ash* atau serat, atau keduanya.

#### - Jenis-jenis *Fly Ash*

Abu terbang atau *fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

1. Kelas C *Fly ash* yang mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau *sub-bitumen* batu bara (batu bara muda). senyawa lain yang terkandung didalamnya :  $\text{SiO}_2$  (30-50%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (17-20%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$  dan sedikit  $\text{K}_2\text{O}$ . mempunyai *specific gravity* 2,31-2,86. Mempunyai sifat pozzolan, tetapi juga langsung bereaksi dengan air untuk membentuk CSH ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). kalsium *Hidroksida* dan *Ettringite* yang mengeras seperti semen.

2. Kelas F *Fly ash* yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara. senyawa lain yang terkandung didalamnya :  $\text{SiO}_2$  (30- 50%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (45-60%), MgO,  $\text{K}_2\text{O}$  dan sedikit  $\text{Na}_2\text{O}$  mempunyai *specific gravity*

2,15-2,45. bersifat seperti pozzolan, tidak bisa mengendap karena kandungan CaO yang kecil.

3. Kelas N Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. selain itu, juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

High volume *fly ash* (HVFA) concrete adalah beton dimana setidaknya 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan *fly ash* baik berupa kelas F *fly ash* maupun kelas C *fly ash*. Istilah *high volume fly ash concrete* sendiri pertama kali diperkenalkan oleh peneliti di pusat penelitian CANMET Kanada pada tahun 1980an (Malhotra and Mehta, 2005). Pemakaian HVFA concrete memberikan beberapa keuntungan terhadap beton yang dihasilkan, baik dalam keadaan beton segar maupun beton yang telah mengeras. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh tersebut adalah :

- a. Peningkatan kelecakan beton
- b. Kemudahan dalam *finishing* permukaan beton.
- c. *Drying shrinkage* dan *creep*
- d. Peningkatan *durabilitas* beton

Penggunaan *fly ash* pada beton tidak saja memberikan keuntungan pada lingkungan tapi juga meningkatkan kinerja dan kualitas beton itu sendiri. Meskipun pemakaian high volume *fly ash concrete* sangat bersesuaian dengan kampanye “*green concrete*”, masih ada beberapa kendala yang menyebabkan teknologi ini belum dapat diterima secara luas. Hambatan-hambatan tersebut dapat disebutkan, yaitu :

- a. Hambatan dari segi peraturan.
- b. Perkembangan kuat tekan yang lambat
- c. Umur perawatan beton yang lama.

#### **- Sifat-sifat *Fly Ash***

##### a. Sifat Fisik

*Fly ash* mempunyai butiran yang halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili micron) 5-27 %. *Fly Ash* umumnya berbentuk bola padat atau berongga. *Fly ash* memiliki *densitas* 2,23 gr/cm<sup>3</sup>, dengan kadar air sekitar 4%. *Fly ash* memiliki *specific gravity* antara 2,15-2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batu bara *bituminous* lebih kecil dari 0,075 mm.

*Fly ash* memiliki luas area spesifiknya 1701000 m<sup>2</sup>/kg. Ukuran partikel rata-rata *fly ash* batu bara jenis *sub bituminous* 0,01 mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m<sup>2</sup>/g, bentuk partikel *mostly spherical*, yaitu

sebagian besar berbentuk bola, sehingga menghasilkan kelecakan yang lebih baik.

#### b. Sifat Kimiawi

Sifat kimia dari *fly ash* dipengaruhi oleh jenis batu bara yang dibakar, teknik penyimpanan, dan penanganannya. Pembakaran batu bara lignit dan *sub-bituminous* menghasilkan *fly ash* dengan kalsium dan *magnesium oksida* lebih banyak daripada jenis *bituminous*. Komponen utama *fly ash* batu bara adalah *silica* ( $\text{SiO}_2$ ), *alumina* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kalsium ( $\text{CaO}$ ); dan *magnesium*, *potassium*, *sodium*, *titanium*, dan belerang dalam jumlah yang sedikit.

*Fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, oksida silika yang dikandung di dalam *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan *kalsium hidroksida* yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat.

Abu batu bara dapat digunakan pada beton sebagai material terpisah atau sebagai bahan dalam campuran semen dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat beton.

Fungsi abu batu bara sebagai bahan aditif dalam beton bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah internal kohesi dan mengurangi porositas daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton menjadi lebih kuat. Pada umur sampai

dengan 7 hari, perubahan fisik abu batu bara akan memberikan kontribusi terhadap perubahan kekuatan yang terjadi pada beton, sedangkan pada umur 7 sampai dengan 28 hari, penambahan kekuatan beton merupakan akibat dari kombinasi antara hidrasi semen dan reaksi pozzolan.

#### **- Perbandingan *Fly Ash* dan Semen Portland**

*Fly ash* digunakan untuk menggantikan semen Portland pada beton, karena mempunyai sifat pozzolanic. Hal ini memungkinkan terjadinya peningkatan kekuatan dan durabilitas dari beton. Adanya penggunaan *fly ash* dapat menjadi faktor kunci pada pemeliharaan beton tersebut. Pada umumnya, penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian berat semen terbatas pada *fly ash* tipe F.

*Fly ash* tersebut dapat menggantikan semen sampai 30% berat semen yang dipergunakan dan dapat menambah daya tahan dan ketahanan terhadap kimia. *Fly ash* juga dapat meningkatkan workability dari semen dengan berkurangnya pemakaian air. Produksi semen sedunia pada tahun 2010 diperkirakan mencapai 2 miliar ton. Hal ini memberikan sebuah solusi, dimana penggunaan *fly ash* dapat mengurangi emisi gas carbon secara signifikan.

Perbandingan *fly ash* dengan semen *Portland* dapat ditinjau dari tiga kemiripan sifat ke dua material tersebut, yaitu sifat fisik, sifat kimia, dan sifat pozzolan.

a. Perbandingan Sifat Fisik

*Fly ash* dan semen mempunyai kemiripan jika ditinjau dari sifat fisik. Kemiripan sifat fisik ke duanya dapat ditinjau dari beberapa variabel. Perbandingan sifat fisik *fly ash* dan semen Portland dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2.2.** Perbandingan sifat fisik *fly ash* dan semen Portland

<b>VARIABEL PEMBANDING</b>	<b>FLY ASH</b>	<b>SEMEN PORTLAND</b>
Kehalusan Butir	5-27% lolos saringan 45µm	80% lolos saringan 44µm
Berat Jenis	2,15 – 2,8 g/cm <sup>3</sup>	3,15 g/cm <sup>3</sup>
Waktu Pengikatan Awal	423 menit	60-120 menit
Specific Gravity	2,15-2,6	3,15
Suhu Pengikatan	24-27C	35 C

b. Perbandingan Sifat Kimia

*Fly ash* dan semen Portland mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi. Ke empat unsur ini merupakan unsur-unsur poko ke dua material ini, karena unsur-unsur tersebut mempengaruhi fungsi dari material. Perbandingan sifat kimia antara *fly ash* dan semen Portland dapat dilihat pada tabel berikut :



**Tabel 2.3.** Perbandingan sifat kimia *fly ash* dan semen *Portland*

<b>KOMPONEN PEMBANDING</b>	<b>% RATA- RATA UNTUK <i>FLY ASH</i></b>	<b>% RATA-RATA UNTUK SEMEN PORTLAND</b>
Kapur, CaO	1 - 12	60 - 65
Silica, SiO <sub>2</sub>	20 - 60	17 - 25
Alumina, AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 - 35	3 - 8
Besi, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 - 40	0.5 - 6
Magnesia, MgO	0 - 5	0,5 - 4
Sulfur, SO <sub>3</sub>	0 - 4	1 - 2
Soda/Potash, Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0 - 7	0,5 - 1

## **b. Bottom Ash**

### **- Penelitian Terdahulu**

Menurut ( Malkit Singh, dkk 2012 ) *Coal bottom ash* (CBA) terbentuk di tungku batu bara. Itu terbuat dari partikel abu yang *diaglomerasi* yang terlalu besar untuk dibawa dalam gas buang dan jatuh melalui perapian terbuka ke *hopper* abu di bagian bawah dari tungku. *Bottom ash* terutama terdiri dari partikel abu kasar yang menyatu. Partikel-partikel ini cukup berpori dan terlihat seperti lava vulkanik. *Bottom ash*

membentuk hingga 25% dari total abu sedangkan abu *fly ash* terbentuk sisanya 75%. Salah satu kegunaan yang paling umum untuk *bottom ash* adalah sebagai pengisi struktural. Literatur yang diterbitkan menunjukkan bahwa ada kemungkinan besar *bottom ash* batu bara digunakan sebagai pengganti agregat halus (pasir). Penggunaannya dalam beton menjadi lebih signifikan dan penting dalam melihat fakta bahwa sumber pasir alam sebagai agregat halus semakin berkurang secara bertahap, dan itu adalah sangat penting bahwa pengganti pasir dieksplorasi. Pengaruh *bottom ash* batu bara terhadap sifat-sifat beton seperti *workability*, *bleeding*, *setting time* kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, kekuatan lentur, susut, dan daya tahan disajikan.

Menurut ( H.K. Kim, dkk 2010 ) Pada penelitian ini telah dilakukan eksperimen untuk mengevaluasi pemanfaatan *bottom ash (by-product)* dari pembangkit listrik sebagai agregat halus dan agregat kasar pada beton mutu tinggi dengan kuat tekan 60–80MPa. Pertama, karakteristik kimia dan fisik partikel *bottom ash*, seperti kimia komposisi, berat jenis dan gambar SEM, diselidiki. Eksperimen lebih lanjut dilakukan dengan mengganti *bottom ash* halus dan kasar dengan pasir normal dan kerikil yang bervariasi dalam persentase (25%, 50%, 75%, dan 100%). Pengaruh *bottom ash* halus dan kasar terhadap karakteristik aliran dan berat jenis campuran beton diselidiki dalam aspek bentuk partikel dan penyerapan pasta *bottom ash*. Sifat mekanik, seperti kekuatan tekan dan modulus elastisitas dan kekuatan lentur beton mutu tinggi dengan *bottom*

*ash* dievaluasi. Ditemukan bahwa aliran kemerosotan segar beton sedikit berkurang dari 530 mm menjadi 420 mm ketika *bottom ash* kasar diganti 100% agregat kasar normal, sedangkan *bottom ash* halus tidak mempengaruhi aliran slump. Selain itu, juga menunjukkan bahwa agregat halus dan agregat kasar memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kekuatan lentur daripada kekuatan tekan.

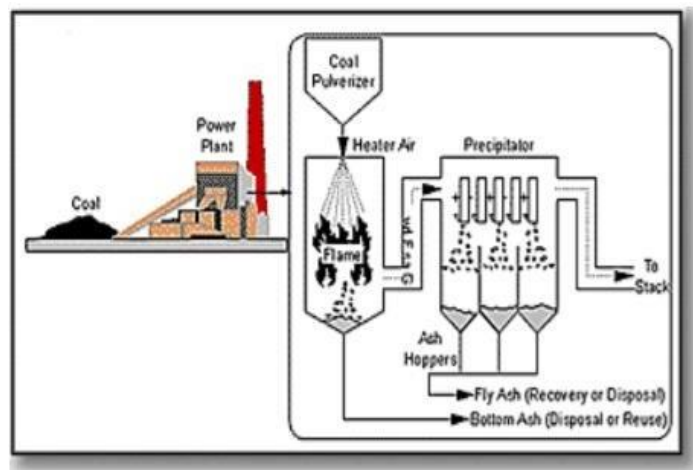
Menurut ( M. Cheriaf, dkk 1999 ) Sifat pozzolan dari *bottom ash* pembakaran batubara diselidiki. Pasta polos yang mengandung kalsium hidroksida dan *bottom ash* dalam jumlah yang sama disiapkan dan dianalisis pada usia yang berbeda untuk kekuatan dan konsumsi kalsium hidroksida. Di awal umur, *bottom ash* tidak bereaksi dengan kalsium hidroksida. Reaksi pozzolannya berlangsung lambat dan berakselerasi secara bertahap menjadi sangat menarik setelah 28 hari dan terutama setelah 90 hari. Indeks aktivitas kekuatan yang diukur pada mortar cukup penting untuk memungkinkan penggunaan *bottom ash* dalam beton. Saat digiling selama 6 jam di ball mill laboratorium, indeks aktivitas kekuatan *bottom ash* selama 28 hari meningkat sebesar 27%.

#### **- Sifat-sifat *Bottom Ash***

*Bottom Ash* adalah limbah hasil pembakaran batu bara dimana jumlahnya akan terus meningkat selama industri terus memproduksi. Penanganan limbah ini dilakukan dengan cara menimbunnya di lahan kosong sehingga apabila volume dalam proses pencampurannya

mengalami proses pengerasan atau hidrasi dalam kurun waktu tertentu.

*Bottom Ash* batu bara merupakan bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash*, sehingga *Bottom Ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan. Sifat dari *Bottom Ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya.



**Gambar 3.** Proses terbentuknya *fly ash* dan *bottom ash* (Agus Suprihanto, 2006)

Sifat dari *Bottom Ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya. Beberapa sifat fisik dan kimia yang penting dari *Bottom Ash* adalah sebagai berikut: Sifat fisik *Bottom Ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, *dry unit*

*weight* dan penyerapan dari *wet* dan *dry Bottom Ash* dapat dilihat pada

**Tabel 2.4.**

**Tabel 2.4.** Sifat Fisik Khas *Bottom Ash*

Sifat fisik <i>Bottom Ash</i>	Wet	Dry
<b>Bentuk</b>	Angular/bersiku	Berbutir kecil/granular
<b>Warna</b>	Hitam	Abu-abu gelap
<b>Tampilan</b>	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
<b>Ukuran (% lolos ayak)</b>	No. 4 (90 – 100%)	1,5 s/d 3/4in (100%)
	No. 10 (40 – 60%)	No. 4 (50 – 90%)
	No. 40 (10%)	No. 10 (10–60%)
	No. 200 (5%)	No. 40 (0 –10%)
<b>Spesifik gravitasi</b>	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
<b>Spesifik gravitasi</b>	960 – 1440 kg/m <sup>3</sup>	720 – 1600kg/m <sup>3</sup>
<b>Penyerapan</b>	0,3 – 1,1%	0,8 – 2,0%

Komposisi kimia dari *bottom ash* sebagian besar tersusun dari unsur-unsur Si, Al, Fe, Ca, serta Mg, S, Na dan unsur kimia yang lain. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton (1973), didapat bahwa kandungan garam dan pH

yang rendah dari *bottom ash* dapat menimbulkan sifat korosi pada struktur baja yang bersentuhan dengan campuran yang mengandung *bottom ash*. Selain itu rendahnya nilai pH yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan *pyrite (iron sulfide)* yang besar.

## **2.4 SIFAT MEKANIK BETON**

Beton memiliki 3 sifat mekanik yaitu kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur. Namun, pada penelitian ini hanya membahas kuat tekan beton saja. Beton baik dalam menahan tegangan tekan dari pada jenis tegangan yang lain dan umumnya pada perencanaan struktur beton memanfaatkan sifat ini. Karenanya kekuatan tekan dari beton dianggap sifat yang paling penting dalam banyak kasus.

Faktor - faktor yang mempengaruhi kekuatan beton dari material penyusunnya ditentukan oleh faktor air semen, porositas dan faktor-faktor intrinsik lainnya seperti kekuatan agregat, kekuatan pasta semen, kekuatan ikatan atau lekatan antara semen dengan agregat. Perilaku mekanis beton keras tidak jauh dari kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Kinerja beton keras yang baik ditunjukkan oleh kuat tekan beton yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, perilaku yang lebih daktail, kedap air dan udara, ketahanan terhadap sulfat dan klorida, penyusutan rendah dan keawetan jangka panjang.

### **2.4.1 Kuat Tekan Beton**

Kekuatan tekan beton dapat dicapai sampai  $96.526 \text{ N/mm}^2$  psi atau lebih, bergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta lama

dan kualitas perawatan. Kekuatan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 20.684 N/mm<sup>2</sup> sampai 41.368 N/mm<sup>2</sup>, dan beton komersial dengan agregat biasa, kekuatannya sekitar 2.068 sampai 68.947 N/mm<sup>2</sup>. (Nawy, E. G. 2010).

SNI 03-1974-1990 memberikan pengertian kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Menurut Tjokrodinuljo (2007) beton dapat mempunyai kuat tekan yang sangat tinggi, tetapi kuat tariknya sangat rendah. Kondisi yang demikian, yaitu rendahnya kuat tarik, pada elemen struktur yang betonnya mengalami tagangan tarik diperkuat dengan batang baja tulangan sehingga terbentuk suatu struktur komposit, dan kemudian dikenal dengan sebutan beton bertulang. Khusus beton saja yang tidak bertulang disebut beton tanpa tulang (*plain concrete*). Untuk struktur tertentu yang tidak menginginkan retak tarik pada beton misalnya, dilakukan manipulasi (*strategis*) dengan memberikan tegangan tekan awal sebelum struktur dibebani, yaitu pada struktur beton prategang (*prestressed concrete*).

Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Berdasarkan SNI 1974:2011, kuat tekan beton dihitung dengan membagi beban tekan

maksimum yang diterima benda uji selama pengujian dengan luar penampang melintang.

Dalam penelitian ini, kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum  $f'_c$  dengan satuan  $\text{N/mm}^2$  atau MPa (Mega Pascal). Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- a) Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kuat tekan rata-rata dan kuat batas beton
- b) Jenis dan tekstur bidang permukaan agregat
- c) Perawatan beton harus diperhatikan, sebab kehilangan kekuatan akibat pengeringan sebelum waktunya adalah sekitar 40%
- d) Suhu mempengaruhi kecepatan pengerasan
- e) Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya

Kecepatan bertambahnya kekuatan, bergantung pada jenis semen yang digunakan, misal semen dengan alumina yang tinggi akan menghasilkan beton dengan kuat hancur pada umur 24 jam sama dengan semen *Portland* biasa umur 28 hari. Pengerasan berlangsung terus seiring dengan pertambahan umur beton.

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang digunakan berbentuk silinder.



Dimensi benda uji standar adalah tinggi 200 mm dan diameter 100 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86 dan SNI . Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi ( $f_c'$ ) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Kekuatan karakteristik, kekuatan tekan, tegangan dan regangan, susut dan rangkai, reaksi terhadap temperatur, keawetan dan kedap terhadap air .

Dari semua sifat tersebut yang terpenting adalah kekuatan tekan beton karena merupakan gambaran dari mutu beton yang ada kaitannya dengan struktur beton, adapun hal-hal yang mempengaruhi kuat tekan beton, sebagai berikut :

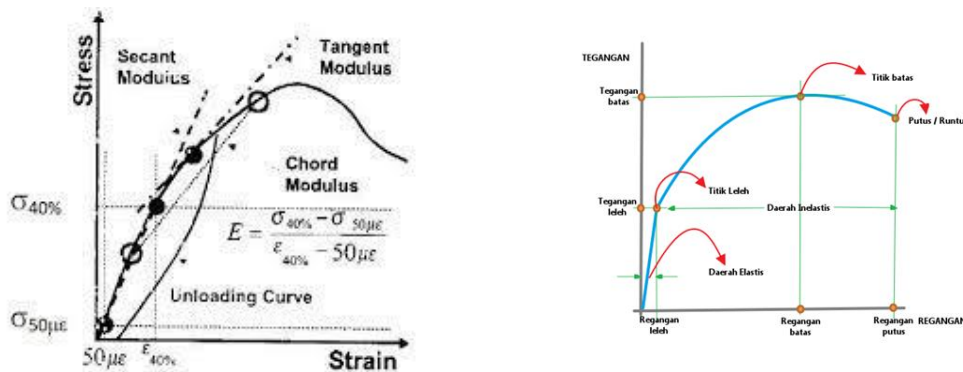
- a. Pengaruh cuaca berupa pengembangan dan penyusutan yang diakibatkan oleh pergantian panas dan dingin.
- b. Daya perusak kimiawi, seperti air laut (garam), asam sulfat, alkali, limbah, dan lain-lain.
- c. Daya tahan terhadap aus (abrasi) yang disebabkan oleh gesekan orang berjalan kaki, lalu lintas, gerakan ombak, dan lain-lain.

#### **2.4.2 Modulus Elastisitas**

Kajian tentang hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan analisis dan perencanaan bagian struktur. Kemampuan bahan untuk menahan beban yang didukungnya dan

perubahan bentuk yang terjadi pada bahan itu amat tergantung pada sifat tegangan-regangan tersebut.

Modulus elastisitas beton menurut SNI 03-4169-1996 adalah nilai tegangan-regangan beton dalam kondisi elastis, dimana tegangan mencapai 40% dari kuat tekan maksimum. Pengujian modulus elastisitas ini bertujuan untuk menentukan mutu beton yang diisyaratkan modulus elastisitas dari sampel beton pada umur 28 hari.



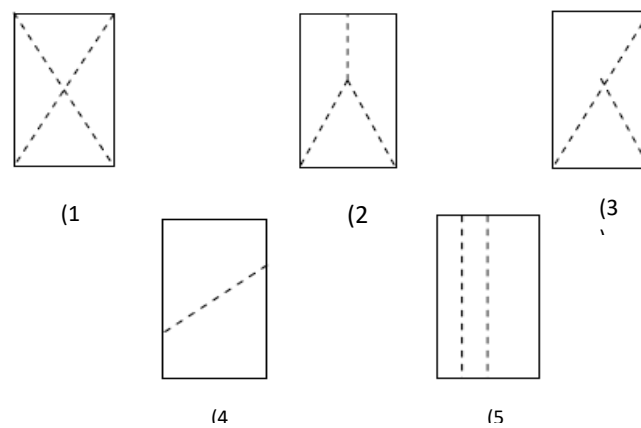
**Gambar 4.** Hubungan Tegangan-Regangan

Karena kurva tegangan-regangan beton seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 4.** adalah kurva linear pada taraf pembebanan awal, maka modulus elastisitas (modulus Young) dari bahan ini adalah garis singgung dari kurva tegangan-regangan pada titik pusatnya. Kemiringan garis singgung ini didefinisikan sebagai modulus tangen awal. Bisa saja dibuat modulus tangen untuk tiap titik lain pada kurva tegangan-regangan. Kemiringan suatu garis lurus yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan ( $0.4 f'c$ ) disebut modulus elastisitas sekan dari beton. Harga ini pada perhitungan desain disebut modulus elastisitas;

modulus ini memenuhi asumsi praktis bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dapat dianggap elastis (pada keadaan beban dihilangkan bersifat reversibel penuh), dan regangan lainnya akibat beban dipandang sebagai rangkai (Nawy, E. G. 2010).

### 2.4.3 Pola Retak dan Kehancuran

Berdasarkan SNI 1974-2011 pola kehancuran dibedakan menjadi 5 tipe, yaitu:



**Gambar 5.** Pola Kehancuran menurut SNI 1974-2011

Keterangan:

1. Bentuk kehancuran kerucut
2. Bentuk kehancuran kerucut dan belah
3. Bentuk kehancuran kerucut dan geser
4. Bentuk kehancuran geser
5. Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar)

Kelima pola retak tersebut dapat terjadi dikarenakan penyebaran tegangan pada benda uji akibat proses ikat tengangan benda uji. Dan terpengaruh terhadap homogenitas agregat penyusun beton.