

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Studi Literatur**

Kelapa sawit dikenalkan ke masyarakat Indonesia pada masa pemerintahan Hindia Belanda oleh Mauritius tahun 1848 di Kebun Raya Bogor. Bibit kelapa sawit itu mulai dikembangkan secara massal di Indonesia oleh orang Belgia yang bernama Addrian Hallet yang mempunyai pengalaman budidaya kelapa sawit di wilayah Afrika. Kesamaan alam wilayah Afrika dan Asia Tenggara membuat tanaman kelapa sawit tumbuh subur diluar wilayah aslinya dan memberikan hasil yang maksimal. Kemudian perkebunan kelapa sawit mulai menyebar ke berbagai wilayah Asia Tenggara seperti Malaysia, Thailand, Filipina dan Indonesia. Di kawasan Indonesia sendiri perkebunan kelapa sawit pertama mulai ditanam dan dibudidayakan di Sungai Liput, Kabupaten Aceh Tamiang dan di Pulau Raja, Kabupaten Asahan pada tahun 1911 oleh Addrian Hallet.

Karena produksi hasil olahan kelapa sawit di Indonesia yang terus meningkat, menjadikan minyak kelapa sawit salah satu komoditas yang menguntungkan di Indonesia. Banyak pabrik-pabrik dibangun di Indonesia untuk mengolah kelapa sawit menjadi minyak sawit. Akibatnya produk sampingan atau limbah-limbah yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan minyak kelapa sawit menjadi menumpuk dan sangat tinggi, adapun limbah yang dihasilkan dari pabrik pengolahan minyak kelapa sawit berupa tandan buah kosong, serat buah perasan, lumpur sawit, cangkang sawit, dan bungkil sawit. Saat ini pemanfaatan cangkang sawit di berbagai industri pengolahan minyak belum maksimal.

Limbah kelapa sawit yang terus diproduksi pabrik-pabrik pengolahan minyak kelapa sawit terus meningkat tiap tahunnya. Sampai saat ini limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal karena nilai ekonomisnya yang sangat rendah. Salah satu limbah yang dimaksud adalah Cangkang Sawit, mengenai pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit yang dihasilkan oleh tanaman kelapa sawit, sudah ada beberapa inovasi yang diciptakan.

Menurut Abdullah, dkk (2010) ialah dengan mengisi bahan campuran agregat, yaitu dengan Cangkang Kelapa Sawit (CKS) pada proporsi tertentu dapat menghasilkan mutu beton >25Mpa pada beton ringan.

Menurut Arifal Hidayat dan Anton Ariyanto (2013) dengan penelitian Penambahan Cangkang Kelapa Sawit pada beton ringan struktural sebagai agregat kasar dan berdasarkan hasil pengujian ini menghasilkan kuat tekan rata-rata 14,29 MPa di umur 7 hari, 17,04 di umur 14 hari dan 18,85 MPa di umur 21 hari sedangkan kuat tekan maksimal berada di umur 28 hari sebesar 20,79 MPa dari kuat tekan rencana 21 MPa.

Menurut Hafiz Riadi dan Danil (2015) yang menggunakan campuran limbah CKS sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar sebanyak 16% pada pembuatan beton dan menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 163,111 kg/cm<sup>2</sup> pada umur 28 hari.

Menurut Thompson Kwan (2018) yang menggunakan campuran CKS sebagai pengganti sebagian agregat kasar untuk pembuatan beton silinder dengan kuat tekan 25,9 MPa dengan campuran 5% CKS, 22,3 MPa dengan campuran 10% CKS dan 13,5 MPa dengan campuran 15% CKS.

Menurut Cristina Anjani (2020) yang menggunakan cangkang kelapa sawit sebagai bahan campuran sebagian agregat kasar dengan prosentase 5% menghasilkan kuat tekan maksimal sebesar 217,39 kg/cm<sup>2</sup> pada umur 28 hari. Sedangkan nilai kuat tekan pada beton normal atau tidak menggunakan campuran cangkang kelapa sawit sebagai pengganti sebagian agregat kasar adalah sebesar 231,73 kg/cm<sup>2</sup> pada umur pengujian 28 hari.

## **1.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Pengertian Beton**

Menurut SNI 2847:2013 beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ( $f'c$ ) pada usia 28 hari. Bahan penyusun beton seperti air, semen, agregat (Agregat kasar dan agregat halus) mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Kuat tekan adalah hal yang paling penting dari beton, bahan campuran yang baik akan menghasilkan mutu beton yang tinggi. Menurut Tjokrodimulyo (1996) hal yang sangat mempengaruhi kuat tekan beton berasal dari material penyusunnya seperti nilai FAS, gradasi agregat, ukuran agregat maksimum, dan cara pembuatannya (mulai dari

mencampur material pembuatan beton, pengangkutan material, pemadatan beton serta perawatan beton).

### 2.2.2 Sifat-Sifat Beton

Sifat beton tergantung dari sifat agregat, semen, air, dan juga perbandingan bahan-bahan penyusunnya. Menurut pendapat dari Tata Surdia, 2005 cara yang tepat untuk membuat beton maksimal yang khas perlu dipilih material yang khas juga serta dicampur dengan benar. yaitu berupa semen, agregat dan air.

Berdasarkan sifatnya, ragam beton dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu beton segar dan beton keras.

#### 1. Beton Segar

Beton Segar adalah beton dengan campuran semen, air, agregat (halus dan kasar) dan menambahkan atau tidaknya bahan tambah aditif (SNI 1972:2008).

Syarat pembuatan beton segar adalah:

1. Mampu mengeras dalam jangka waktu yang sangat lama. Seperti kestabilan, kekuatan maupun keawetan beton.
2. Mampu berada dalam kondisi plastis. seperti mampu dikerjakan tanpa perlu kondisi *bleeding* maupun *segregation*.

#### 2. Beton Keras

Beton keras adalah beton yang cukup kaku untuk menahan tekanan. Mempunyai sifat-sifat yang meliputi kekuatan tekan, regangan dan tegangan, rangkai dan susut, keawetan yang tinggi, reaksi terhadap temperatur, serta kekedapan terhadap air. Kualitas dari sebuah beton tergantung pada hasil kuat tekannya dan mutu yang akan digunakan. pengujian untuk memastikan kualitas beton baik atau buruknya maka perlu dilakukan test kuat tekan, kuat tarik belah, kelenturan, pengujian perekatan beton dengan pembesian serta modulus elastisitasnya.

### 2.2.3 Karakteristik Beton

Berikut adalah karakteristik dari sebuah beton, antara lain :

1. Memiliki kuat tekan tinggi.
2. Tegangan tarik yang dihasilkan sangat rendah.
3. Tidak dapat digunakan pada bangunan yang menahan momen lengkung.
4. Beton akan retak apabila dipaksa untuk memikul gaya tarik.

5. Kuat tekan beton akan sangat dipengaruhi oleh banyaknya air dan semen yang digunakan.
6. Kekuatan beton maksimum adalah setelah 28 Hari.
7. Material yang sangat efisien dan praktis untuk pekerjaan suatu konstruksi
8. Sifat kakunya mampu membuat beton berdiri kokoh.
9. Mampu bertahan dalam suhu tinggi.
10. Tidak perlu melakukan perawatan secara intensif.
11. Volume beton akan menyusut seiring dengan berjalannya waktu.
12. Bahan bangunan dengan bobot yang sangat berat.
13. Struktur bangunan yang menggunakan beton mampu bertahan hingga 50 tahun.
14. Beton akan rentan terjadi keretakan pada saat perkerasan.
15. Beton dengan tulangan baja akan meningkatkan kuat tekan beton.

Beton memiliki peran yang sangat penting dalam suatu bangunan seperti rumah, gedung, ruko dan bangunan lainnya. Keunggulan beton seperti :

- a. Untuk dapat membentuk beton sesuai kebutuhan konstruksi maka perlu digunakan bekisting.
- b. Memiliki ketahanan terhadap api.
- c. Memiliki kuat tekan yang tinggi,
- d. Bahan baku campurannya gampang ditemukan,
- e. Tidak memerlukan perawatan khusus dan tahan lama.

Kekurangan beton antara lain :

- a. Proses pembuatan serta perencanaan mutu beton sangat mempengaruhi kuat tekan.
- b. Memiliki berat jenis sekitar  $2400 \text{ kg/cm}^3$  dan tergolong besar.
- c. Beton bersifat tidak getas (daktail) yaitu 'survive' apabila menerima goncangan ke segala arah dan tidak ambruk seketika, sehingga perlu dihitung dengan teliti dan benar agar ketika dikombinasikan dengan tulangan besi/baja akan bersifat daktail dalam perancangan struktur tahan gempa.

Proses pembuatan beton secara sederhana adalah dengan cara mencampurkan bahan-bahan dasarnya menjadi beton. Pembuatan beton harus sesuai standar, yakni sesuai dengan standar-standar yang berlaku secara umum, perencanaan pembuatan beton harus dihitung dengan teliti dan benar supaya kuat tekan yang dihasilkan

bernilai tinggi. Beton harus dapat diaduk, diangkut, dituangkan, dan dapat dipadatkan, tidak terjadi pemisahan material seperti kerikil, air maupun semen dari campuran beton. Beton keras yang bagus digunakan adalah beton yang kuat, kaku, tahan lama, kedap air, tahan aus, dan mengalami susut yang kecil (Tjokrodimulyo 1996 : 2)



**Gambar 2. 1** Beton Berbentuk Silinder

*Sumber: Laboratorium Teknik Sipil UMKT, 2022*

## 2.3 Material Beton

### 2.3.1 Semen Portland

Semen Portland adalah semen yang paling banyak digunakan secara umum diseluruh dunia sebagai bahan dasar pembuatan beton yang berasal dari serbuk halus dari hasil pemanasan batu gamping dan mineral tanah liat dalam oven besar agar menjadi klinker. Standar untuk memproduksi semen portland untuk pekerjaan konstruksi di Indonesia adalah standar SII.0013 – 81 atau standar uji bahan bangunan Indonesia 1986. Semen portland menjadi salah satu material berbiaya rendah dan paling serbaguna dalam pembangunan konstruksi di Indonesia.

Semen harus sesuai dengan rencana kuat tekan dan spesifikasi yang telah ditentukan. Semen harus memiliki fungsi mengikat agregat-agregat hingga bermassa padat dan dapat mengisi bagian yang kosong dalam campuran agregat. Oleh karena itu, fungsi semen sebagai bahan pengikat sangatlah penting.

Pembuatan semen Portland diproses dengan cara sebagai berikut:

- a. Penambangan
- b. Pemecahan di pabrik pengolahan semen

- c. Pengadukan material
- d. Mencampur material penyusun beton
- e. Setelah itu membakar material penyusun beton
- f. Setelah pembakaran dilakukan pengadukan material kembali
- g. Kemudian menambahkan gypsum
- h. Pengemasan

Semen Portland diproduksi dengan cara mengoven karbonat (batu gamping) yang memiliki kandungan alumunia dengan komposisi yang direncanakan dan dioven dengan menggunakan tanur (oven besar dalam ruangan) dengan suhu diatas  $1400^{\circ}\text{C}$  hingga menjadi klinker, penggilingan klinker dan menambahkan sejumlah kecil bahan lainnya. Jenis semen portland yang umum digunakan adalah semen portland biasa (OPC). Semen khusus yang diproduksi agar semen cepat mengeras akan ditambahkan kalsium klorida.

**Tabel 2. 1** Susunan oksida semen Portland.

Oksida	Notasi Pendek	Nama Umum	Berat (%)
Ca O4	C	Kapur	63
Si O2	S	Silika	22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A	Alumina	6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	Ferrit Oksida	2,5
MgO	M	Magnesia	2,6
K <sub>2</sub> O	K	Potassium Oksida	0,6
Na <sub>2</sub> O	N	Sodium Oksida	0,3
SO <sub>2</sub>	S	Sulfur Oksida	2

Sumber: Tjokrodinuljo,2007

5 jenis semen portland menurut standar SII 0031-81, yaitu :

1. Tipe I : Digunakan pada pekerjaan bangunan biasa pada umumnya dan bangunan yang tidak memungkinkan adanya kandungan sulfat dan munculnya panas hidrasi.  
Contohnya: jalan, gedung jembatan dan lain-lain.
2. Tipe II : Digunakan pada pekerjaan konstruksi bangunan yang mengandung sulfat dan panas hidrasi dalam kondisi sedang.

Contohnya: Mercusuar, Dam, irigasi, dan bangunan yang berada diposisi dengan banyak mengandung sulfat dan panas hidrasi rendah.

3. Tipe III : Digunakan untuk pekerjaan konstruksi bangunan yang membutuhkan kuat tekan yang tinggi pada fase awal dimulainya waktu pengikatan beton.

Contohnya: jembatan – jembatan, pondasi-pondasi berat, gedung pencakar langit dan lain-lain.

4. Tipe IV : Digunakan untuk pekerjaan konstruksi yang tidak menimbulkan panas, Contohnya: pengecoran dengan penyemprotan (Setting Time Lama)

5. Tipe V : Digunakan untuk pekerjaan konstruksi bangunan dengan kandungan sulfat yang tinggi.

Contohnya: pabrik pengolahan limbah, konstruks, rig pertambangan migas, jembatan, terowongan, dermaga, pembangkit tenaga nuklir dan lain-lain.

### **Karakteristik dan Sifat-Sifat Semen Portland**

#### **a. Karakteristik dan Sifat-Sifat Secara Fisika Semen Portland**

Penjelasannya antara lain:

1. Butiran Semen

Butiran semen yang halus dan terlalu kecil dapat mempengaruhi terjadinya proses hidrasi yang cepat. Naiknya air ke permukaan (bleeding) tidak akan terjadi apabila kehalusan butir semen tinggi tetapi akan mengalami terlalu banyak penyusutan dan akan keretakan pada beton. Penggunaan saringan No.200 tidak kurang dari 78 % (ASTM).

2. Kepadatan Semen (*Density*)

Menurut ASTM berat jenis semen sesuai spesifikasi adalah  $3.15 \text{ Mg/m}^3$ . pada semen yang diproduksi pabrik antara  $3.05 \text{ Mg/m}^3$ - $3.25 \text{ Mg/m}^3$ . Untuk membuktikan hal ini maka perlu dilakukan pengujian berat jenis menggunakan Le Chatelier Flask sesuai dengan standar ASTM C-188

3. Konsistensi

Konsistensi semen Portland lebih berpengaruh pada saat proses awal antara terjadi pengikatan sampai akhirnya beton mengalami pengerasan. kehalusan semen dan kecepatan hidrasi sangat berpengaruh terhadap konsistensi semen.

4. Waktu Mengikat Semen

Adalah waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras, mulai dari semen

bercampur dengan air hingga menjadi pasta semen yang cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu mengikat semen dibagi menjadi 2 yaitu :

- 1) Waktu pengikatan awal (*initial setting time*) yaitu waktu pencampuran semen dengan air hingga menjadi pasta semen. Waktunya antara 1-2 jam.
- 2) Waktu pengikatan akhir (*final setting time*) yaitu waktu terbentuknya pasta semen sampai mengerasnya beton. Waktunya tidak lebih dari 8 jam.

#### 5. Proses Hidrasi Pada Semen

Adalah reaksi yang diakibatkan oleh suatu reaksi antara semen dan air yang bercampur. reaksi ini dapat menyebabkan masalah seperti terjadi retakan pada saat proses pendinginan. Maka diperlukan perawatan beton (curing) pada pelaksanaannya.

#### 6. Perubahan Volume Semen (Kekalan)

Suatu ukuran yang mempunyai kemampuan, pengembangan material campuran beton dan kemampuan memiliki volume tetap saat terjadi pengerasan beton.

#### 7. Kekuatan Tekan

Kekuatan struktur yang direncanakan maka akan semakin tinggi dan akan menghasilkan mutu beton yang tinggi. Kekuatan tekan beton dinotasikan sebagai berikut (PB,1089:16) :

$f'_c$  = Kuat tekan beton (Mpa).

$f_{ck}$  = Kuat tekan beton yang didapat dari hasil uji kubus atau silinder.

$f_c$  = Kuat tarik dari hasil uji belah beton (Mpa).

$f'_{cr}$  = Kuat tekan beton yang direncanakan (Mpa).

$S$  = deviasi standar (s) (Mpa).

#### b. Sifat Kimia Semen Portland

##### 1) Sifat-sifat Semen secara kimia antara lain :

- Semen yang segar
- Butiran semen yang tidak mengalami kelarutan
- Semen dengan proses hidrasinya
- Faktor air semen (FAS)

##### 2) Kandungan bahan kimia yang ada didalam semen

Berikut adalah penjelasan 4 bahan kimia penyusun semen beserta karakteristiknya.



**Tabel 2. 2** Bahan-bahan kimia penyusun semen beserta karakteristiknya

Sifat	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
a. Reaksi dg air	sedang	lambat	cepat	Lambat sekali
b. Panas hidrasi,cal/gr	120	60	207	100
c. Nilai rekatan	baik	baik	baik	Tidak ada
d. Pengembangan karena reaksi	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Pasif

**Sumber:** Teknologi Beton, Paul Nugraha dan Antoni, 2010

### 2.3.2 Air

Air berfungsi sebagai bahan untuk mencampur dan mengaduk material penyusun beton. Air yang baik untuk pembuatan beton adalah air yang dapat diminum karena memenuhi syarat sebagai bahan penyusun beton. Air yang dimaksud adalah air yang bebas dari zat-zat organik yang terlarut dan terlalu banyak (Mindess et al.,2003).

Menurut SNI 03-6861.1-2002 persyaratan air untuk campuran beton adalah:

1. Air yang bersih.
2. Tidak berlumpur, berminyak maupun terdapat zat-zat asing terlarut yang dapat terlihat secara kasat mata.
3. Terdapat zat-zat tersuspensi kurang dari 0.02 kg/ltr.
4. Mengandung garam kurang dari 15 gr/l, terdapat klorida (Cl) tidak lebih dari 0,5 gram dan sulfat tidak lebih dari 1 gram. sebagai SO<sub>3</sub>.
5. Penurunan kuat tekan beton yang menggunakan air yang diperiksa <10%, dan
6. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat diatas air mengandung klorida >0,05 gram/liter.
7. Semua air yang tidak sesuai persyaratan harus diuji secara kimia.

Pencampuran semen dan air biasa disebut FAS adalah hal penting dalam pembuatan pasta semen. Campuran air dalam pembuatan beton secara berlebihan akan menyebabkan gelembung air menjadi banyak setelah proses hidrasi selesai sedangkan apabila air terlalu sedikit maka akan mempengaruhi kuat tekan beton. Kebutuhan air dalam campuran pembuatan beton harus berkaitan dengan penjelasan dibawah ini:

1. Bentuk agregat minimum : ukuran agregat apabila berbentuk kecil maka perlu dilakukan penambahan jumlah air.
2. Bentuk butiran agregat : kebutuhan air menurun apabila agregat berbentuk bulat dan lebih banyak air untuk batu pecah.
3. Gradasi agregat : apabila gradasi baik maka kebutuhan air akan menurun untuk kelecakan yang sama.
4. Kebersihan agregat : dalam hal ini yang umum adalah lumpur. Kadar air meningkat apabila jumlah kotoran pada agregat makin banyak.
5. Jumlah agregat : jumlah agregat terlalu banyak maka air yang digunakan meningkat begitupun sebaliknya.

### 2.3.3 Agregat Kasar

Kerikil pecah yang batuaannya lebih dari 0,5 cm atau yang tertahan diayakan 0,475 cm adalah agregat kasar. Agregat kasar pada beton adalah kerikil pecah yang berasal dari batu-batuan atau batu pecah yang didapat secara manual ataupun mesin. Kerikil pecah yang baik digunakan dalam pembuatan beton adalah batuan yang keras, tidak mudah pecah, dan bentuk yang kasar, tidak mengandung lumpur diatas 1 % dan tidak mengandung zat-zat yang dapat merusak beton.

Menurut SNI 03-1970- 1990 agregat kasar yaitu kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu secara manual ataupun dengan menggunakan mesin dengan ukuran butir 4,75 mm – 40 mm (Saringan No.4 – No 1 1/2 Inch).

Agregat terbagi dari 3 macam apabila dilihat dari berat jenisnya, yaitu: :

1. Batu Ringan  
Berat jenis < 2,5 gr/cm<sup>3</sup>.
2. Batu Normal  
Berat jenis 2,5 gr/cm<sup>3</sup> - 2,7 gr/cm<sup>3</sup>.
3. Batu Berat  
Berat jenis >2,7 gr/cm<sup>3</sup>.

**Tabel 2. 3 Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar  
Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maksimal**

<b>Lubang Ayakan (mm)</b>	<b>40 mm</b>	<b>20 mm</b>	<b>12,5 mm</b>
38,10	95 – 100	100	-
19,00	35 – 70	95 – 100	100
9,52	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,76	0 – 5	0 – 10	0 – 10

Sumber: SNI 03 – 1750 – 1990



**Gambar 2. 2 Batu Pecah ex Palu**

*Sumber: Laboratorium Teknik Sipil UMKT, 2022*

### 2.3.4 Agregat Halus

Bahan penyusun beton terdiri dari 70%-80% agregat dari total volume beton, sehingga menjadi material penting dalam pembuatan beton (Mindess et al., 2003). Menurut Nawy, 1998 Agregat halus harus bergradasi agar massa beton dapat berguna sebagai kesatuan yang utuh, rapat, homogen dan bervariasi dalam berperilaku.

Agregat halus disini adalah pasir, baik berupa pasir alami, atau dari hasil pembuatan secara manual maupun menggunakan mesin. Agregat halus memiliki ukuran <4,75 mm (ASTM C 125–06). Menurut standar SK SNI T-15-1991-03 Ada beberapa jenis pasir tergantung ukurannya seperti:

1. Pasir halus : < 1,2 mm
2. Silt : < 0,075 mm
3. Clay : < 0,002 mm

Berikut adalah pengertian lain dari agregat halus, yaitu :

- Agregat dengan butiran halus antara 0,2 cm – 0,5 cm.
- Berdasarkan standar SNI 02-6820-2002, agregat yang butiran maksimumnya sebesar 0,475 cm.
- Menurut Nevil (1997), agregat dengan ukuran <0,05 cm adalah pasir alam maupun pasir hasil proses secara manual ataupun menggunakan mesin.

Berdasarkan Standar SNI 02-6820-2002 persyaratan agregat halus harus sesuai dengan penjelasan berikut ini:

- Pasir yang bagus adalah pasir dengan bentuk yang keras dan tajam
- Pasir tidak gampang pecah atau hancur terkena cuaca panas ataupun dingin dan dapat dibuktikan dengan menggunakan natrium sulfat dengan kehancuran pasir tidak lebih dari 10% berat total agregat halus.
- Mengandung kadar lumpur dibawah 5% (terhadap berat kering), jika melebihi 5% maka pasir wajib dicuci.

**Tabel 2. 4** Batas-batas gradasi agregat halus

Diameter Saringan (mm)	Persen butir lolos ayakan			
	Zona 1 (Kasar)	Zona 2 (Agak Kasar)	Zona 3 (Agak Halus)	Zona 4 (Halus)
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SK-SNI-T-15-1990-03

Pasir alam terbagi menjadi 3, yaitu :

a. Pasir gunung

Pasir yang didapat dengan cara menambang di quarry, galian bukit atau letusan gunung berapi, memiliki ciri berbentuk runcing dan berstektur halus.

b. Pasir sungai

Pasir yang berasal penggalian dan penambangan di sungai, memiliki bentuk dan

ukuran berbeda-beda karena tergantung asal batuan dan besar kecilnya aliran sungai.

c. Pasir laut

Pasir laut berasal dari pesisir pantai dengan ukuran antara 0,55-2,5 mm.

Penelitian ini memanfaatkan agregat halus Pasir Tenggarong. Jenis pasir ini mempunyai karakteristik butiran yang kasar dengan sedikit partikel batu bara yang ikut terambil saat proses penyedotan di sungai Mahakam. Disepanjang sungai mahakam tersebar stock file batu bara yang berada di pinggir sungai. Namun jenis pasir ini bisa dikatakan lebih bersih daripada jenis lokal lainnya seperti pasir mahakam. Pasir ini lebih bersih dikarenakan lokasi pengambilannya di daerah desa Embalut yang terkenal dengan kebersihan pasir yang dihasilkan.



**Gambar 2. 3** Pasir Tenggarong

*Sumber: Laboratorium Teknik Sipil UMKT, 2022*

### **2.3.5 Limbah Cangkang Kelapa Sawit (CKS)**

Pada penelitian ini, limbah cangkang kelapa sawit yang akan dijadikan sebagai pengganti sebagian agregat kasar. Limbah ini didapat dari pabrik-pabrik pembuatan minyak sawit yang mana dalam pengolahannya menghasilkan berbagai macam limbah, salah satunya limbah tempurung kelapa sawit.

Dipilihnya limbah cangkang kelapa sawit ini, karena wilayah Kalimantan Timur terkenal akan perkebunan kelapa sawitnya dan banyak pula pabrik-pabrik pengolahan kelapa sawit di wilayah Kalimantan Timur sehingga perlu adanya ide

untuk pemanfaatan limbah tempurung kelapa sawit ini menjadi campuran dalam pembuatan beton.

**Tabel 2. 5** Rekapitulasi Wilayah Penghasil Dan Produksi Kelapa Sawit Menurut Kabupaten/Kota Wilayah Kalimantan Timur Tahun 2020

Kabupaten/Kota	Total Luas	Produksi	Produktivitas
	(Ha)	(Ton)	(Kg/Ha)
Kutai Kartanegara	255.343	3.110.111	14.51
Kutai Timur	459.541	6.452.834	18.77
Kutai Barat	153.87	877.789	17.749
Mahakam Ulu	25.096	127.323	6.964
Penajam Paser Utara	47.084	399.987	10.573
Paser	178.328	2.014.529	13.988
Berau	257.318	4.729.880	22.324
Samarinda	1.209	8.719	10.581
Balikpapan	41	487	17.393
Bontang	52	311	9.147
<b>Total Tahun 2020</b>	<b>1.374.543</b>	<b>17.721.970</b>	<b>17.367</b>

Sumber : Dinas Perkebunan Provinsi Kalimantan Timur (2021)

Dari Tabel diatas wilayah Kutai Timur adalah penghasil kelapa sawit terbesar di Kalimantan Timur dengan produksi 5.082.354 Ton kelapa sawit. Oleh karena itu, pengambilan bahan penelitian limbah tempurung kelapa sawit akan diambil di sekitar wilayah Kutai Timur yaitu Kecamatan Muara Wahau, Kabupaten Kutai Timur karena di wilayah ini terdapat juga pabrik pengolahan minyak kelapa sawit.



**Gambar 2. 4** Limbah Cangkang Kelapa Sawit

*Sumber: Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit, Muara Wahau, Kutai Timur, 2022*

## **2.4 Karakteristik Bahan**

Karakteristik beton terdiri dari pengujian sifat fisis dan pengujian sifat mekanik (sumber: repositori.usu.ac.id)

### **2.4.1 Sifat Fisis**

#### **1. Densitas (Massa Jenis)**

Merupakan massa dalam benda pada setiap volumenya. Perhitungan densitas adalah dengan cara membagi total massa dan total volume benda. Apabila sebuah benda memiliki nilai densitas lebih tinggi maka volumenya menjadi lebih rendah.

#### **2. Penyerapan Air**

Penyerapan air pada benda uji sangat berpengaruh terhadap rongga-rongga atau pori-pori benda uji. Benda uji yang memiliki banyak pori-pori maka memiliki penyerapan yang lebih besar dan berakibat pada berkurangnya kekuatan benda uji.

#### **3. Porositas**

Porositas merupakan perbandingan antara volume pori-pori terhadap total volume beton dan dinyatakan dalam persen (%). Besarnya porositas pada suatu benda uji berkisar antara 0% - 90%. Porositas terbagi dari 2 jenis yaitu:

1. Porositas tertutup yaitu porositas yang sulit ditemukan porinya karena berada ditengah beton serta tertahan didalamnya.
2. Porositas terbuka yaitu porositas yang terjebak ditengah padatan dan masih ada akses keluar permukaan.

## 2.4.2 Pengujian Sifat Mekanik

### Kuat Tekan (Bending Strength)

Kuat tekan benda uji merupakan kemampuan benda dalam menahan beban/gaya tekan sampai terjadinya keretakan beton. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberi beban vertikal pada benda uji dan mengakibatkan hancurnya benda uji tersebut. Hal ini umumnya dilakukan pada beton silinder

(Sumber: repositori.usu.ac.id)

Untuk perhitungan kuat tekan beton silinder menggunakan rumus:

$$f_c = \frac{P_{maks}}{A} \quad (2.1)$$

Dengan :

$f_c$  = Kuat Tekan (Mpa)

$P_{maks}$  = Beban Maksimum (kN)

$A$  = Luas Penampang (mm)



**Gambar 2. 5** Pengujian Kuat Tekan Beton

*Sumber: Laboratorium Teknik Sipil, UMKT, 2022*