

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Normal

Menurut Ir. Tri Mulyono, MT, beton merupakan fungsi dari bahan penyusunannya yang terdiri dari bahan semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (zat addictive). Menurut SK SNI 03 – 2847 – 2002, defenisi beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

Perencanaan mutu beton 250kg/m³ dibuat menggunakan agregat alam.

Dalam pengerjaan beton ada 3 sifat yang harus diperhatikan yaitu :

1. Kemudahan pengerjaan (Workability)

Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari slump yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Unsur – unsur yang mempengaruhinya antara lain :

a. Jumlah air pencampur

Semakin banyak air, semakin mudah dikerjakan.

b. Kandungan semen

Jika FAS tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannya semakin tinggi.

c. Gradasi campuran pasir – kerikil

Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan.

d. Bentuk butiran agregat kasar

Agregat berbentuk bulat (guli) lebih mudah dikerjakan

e. Butir maksimum

f. Cara pemadatan dan alat pemadat

2. Pemisahan kerikil (Segregation)

Kecenderungan butir – butir kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan segregasi. Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil yang pada akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Segregasi ini disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, campuran kurus atau kurang semen. Kedua, terlalu banyak air. Ketiga, besar ukuran agregat maksimum lebih dari 40 mm. Keempat, semakin besar permukaan butir agregat, semakin mudah terjadi segregasi.

Kecenderungan terjadinya segregasi ini dapat dicegah jika :

a. Tinggi jatuh diperpendek

b. Penggunaan air sesuai dengan syarat

c. Cukup ruangan antara batang tulangan dengan acuan

d. Ukuran agregat sesuai dengan syarat

e. Pemadatan baik

3. Bleeding (Pemisahan air)

Kecenderungan air untuk naik kepermukaan pada beton yang baru dipadatkan dinamakan bleeding. Air yang naik ini membawa semen dan butir – butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput (laitance). Bleeding ini dipengaruhi oleh :

a. Susunan butir agregat

Jika komposisinya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya bleeding kecil.

b. Banyaknya air

Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya bleeding

c. Kecepatan hidrasi

Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil kemungkinan terjadinya bleeding

d. Proses pemadatan

Pemadatan yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya bleeding

Bleeding ini dapat dikurangi dengan cara :

e. Memberi lebih banyak semen

f. Menggunakan air sesedikit mungkin

g. Memasukan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus

2.2 Bahan Pembentuk Beton

2.2.1 Semen Portland

Menurut ASTM C – 150, 1985, semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Semen Portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013 – 81 atau standar uji bahan bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut.

Proses pembuatan semen Portland dilaksanakan melalui beberapa tahapan yaitu ;

- a. Penambangan di (quarry)
- b. Pemecahan di (crushing plant)
- c. Penggilingan (blending)
- d. Pencampuran bahan – bahan
- e. Pembakaran (ciln)
- f. Penggilingan kembali hasil pembakaran
- g. Penambahan bahan tambah (gypsum)
- h. Pengikatan (packing plant)

Proses pembuatan semen Portland dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

- a. Proses Basah

Pada proses basah, sebelum dibakar bahan dicampur dengan air (**slurry**) dan digiling hingga berupa bubur halus. Proses basah umumnya dilakukan jika yang diolah merupakan bahan – bahan lunak seperti kapur dan lempung.

Bubur halus yang dihasilkan selanjutnya dimasukkan dalam sebuah pengering (oven) berbentuk silinder yang dipasang miring (ciln). Suhu ciln ini sedikit dinaikkan dan diputar dengan kecepatan tertentu. Bahan akan mengalami perubahan sedikit demi sedikit akibat naiknya suhu dan akibat terjadinya sliding didalam ciln. Pada suhu 100° C air mulai menguap dan pada suhu 850° C karbondioksida dilepaskan. Pada suhu 1400° C,

berlangsung permulaan perpaduan didaerah pembakaran, dimana akan terbentuk klinker yang terdiri dari senyawa kalsium silikat dan kalsium aluminat. Klinker tersebut selanjutnya didinginkan, kemudian dihaluskan menjadi butir halus dan ditambah dengan bahan gypsum sekitar 1% - 5%.

b. Proses Kering

Proses kering biasanya digunakan untuk jenis batuan yang lebih keras misalnya untuk batu kapur jenis shale. Pada proses ini bahan dicampur dan digiling dalam keadaan kering menjadi bubuk kasar. Selanjutnya bahan tersebut dimasukkan kedalam ciln dan proses selanjutnya sama dengan proses basah.

2.2.2 Sifat dan Karakteristik Semen Portland

a. Sifat dan Karakteristik Fisika Semen Portland

Sifat – sifat fisika semen Portland meliputi :

1. Kehalusan Butir (Fineness)

Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi. Waktu (setting time) menjadi lama jika butir semen lebih kasar. Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi bleeding atau naiknya air kepermukaan, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut. Menurut ASTM. Butir semen yang lewat ayakan Harus lebih dari 78 %.

2. Kepadatan (density)

Berat jenis semen yang disyaratkan oleh ASTM adalah 3.15 Mg/m³.pada kenyataannya berat jenis semen yang diproduksi

berkisar 3.05 Mg/m^3 sampai 3.25 Mg/m^3 . pengujian berat jenis dilakukan dengan menggunakan **Le Chatelier Flask** menurut standar ASTM C – 188.

3. Konsistensi

Konsistensi semen Portland lebih banyak pengaruhnya pada saat pencampuran awal, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai pada saat beton mengeras. Konsistensi yang terjadi sangat bergantung pada kehalusan semen dan kecepatan hidrasi.

4. Waktu Pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras dihitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat dibedakan menjadi 2 yaitu :

- 1) Waktu ikat awal (initial setting time) yaitu waktu pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen hingga hilangnya sifat keplastisan,
- 2) Waktu ikat akhir (final setting time) yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras. Pada semen Portland initial setting time berkisar antara 1 -2 jam, tetapi tidak boleh kurang dari 1 jam, sedangkan final setting time tidak boleh lebih dari 8 jam.

5. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Dalam pelaksanaannya

perkembangan panas ini dapat mengakibatkan masalah yakni timbulnya retakan pada saat pendinginan. Oleh karena itu perlu perawatan (curing) pada saat pelaksanaan.

b. Sifat dan karakteristik semen Portland

1) Senyawa kimia

Secara garis besar, ada 4 senyawa kimia utama yang menyusun semen Portland, yaitu :

- a. Trikalsium Silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C3S
- b. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C2S
- c. Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C3A
- a. Tetrakalsium Aluminoferrit ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C4AF

Menurut SK.SNI T – 15 – 1990 – 03 : 2, semen Portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya. Semen type ini digunakan untuk bangunan-bangunan umum.

Type II, Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Semen type II memiliki kadar C3A tidak lebih dari 8% dan digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus-menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertanam didalam tanah yang mengandung air agresif (Garam-garam dan Sulfat) dan saluran air buangan.

Type III, Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi. Semen type ini memiliki kadar C3A serta C3S yang tinggi dan butirannya digiling

sangat halus, sehingga cepat mengalami proses hidrasi. Semen jenis ini dipergunakan pada daerah yang memiliki temperature rendah terutama pada daerah yang memiliki musim dingin.

Type IV, Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah . Semen jenis ini memiliki panas hidrasi yang rendah, kadar C3S – nya dibatasi maksimum sekitar 35% dan kadar C3A- nya maksimum 5% digunakan untuk pekerjaan bending (bendungan), pondasi berukuran besar dan pekerjaan besar lainnya.

Type V, Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Semen tipe ini digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industry, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam prosentase yang tinggi.

2) Sifat Kimia

Sifat kimia semen meliputi :

- Kesegaran semen
- Sisa yang tak larut
- Panas hidrasi semen
- Kekuatan pasta semen dan faktor air semen

1.2.3 Agregat Kasar dan Agregat Halus

Kandungan agregat dalam campuran beton berkisar 60% - 70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karna komposisinya yang cukup besar, maka agregat menjadi sangat

penting. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam dan agregat buatan. Secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Menurut standart ASTM agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirannya lebih besar dari 4.75 mm sedangkan agregat halus adalah agregat yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4.75 mm.

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Adapun sifat-sifat agregat dalam campuran beton yaitu :

- a. Serapan air dan kadar air agregat
- b. Berat jenis agregat
- c. Gradasi agregat
- d. Modulus halus butir
- e. Ketahanan kimia
- f. Kekekalan
- g. Perubahan volume
- h. Kotoran organik

2.2.4 Serapan Air dan Kadar Air Agregat

1. Serapan Air

Serapan air dihitung dari banyaknya air yang mampu diserap oleh agregat pada kondisi jenuh permukaan kering atau kondisi SSD (Standarded Surface Dry), dimana kondisi ini merupakan:

- a. Keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah atau mengurangi air dari pasta.

- b. Kadar air dilapangan lebih banyak mendekati kondisi SSD daripada kondisi kering tungku

2. Kadar air

Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung dalam suatu agregat, Kadar Air agregat dapat dibedakan menjadi 4 jenis.

- a. Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair
- b. Kadar air kering udara, yaitu kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi sedikit mengandung air dalam porinya dan masih dapat menyerap air.
- c. Jenuh kering permukaan, yaitu keadaan dimana tidak ada air dipermukaan agregat, tetapi agregat tersebut masih mampu menyerap air. Pada kondisi ini, air didalam agregat tidak akan menambah atau mengurangi air pada campuran beton.
- d. Kondisi basah, yaitu kondisi dimana butir-butir agregat banyak mengandung air sehingga akan menyebabkan penambahan kadar air campuran beton.

2.2.5 Berat Jenis dan Daya Serap Agregat

Berat jenis agregat adalah rasio antara masa padat agregat dan masa air dengan volume sama pada suhu yang sama. Berat jenis agregat dibedakan menjadi 2 istilah, yaitu :

- a. Berat Jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori
- b. Berat Jenis semu, jika volume benda padatnya termasuk pori-pori tertutupnya .

Hubungan antara berat jenis dengan daya serap adalah jika semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap agregat tersebut.

a. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan menjadi volume pori yang kecil. Hal ini karna butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kemampatannya (kepadatannya) tinggi.

Menurut SK.SNI T – 15 – 1990 – 03 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari British Standar di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam 4 zone (daerah) seperti pada tabel 2.1 dibawah ini :

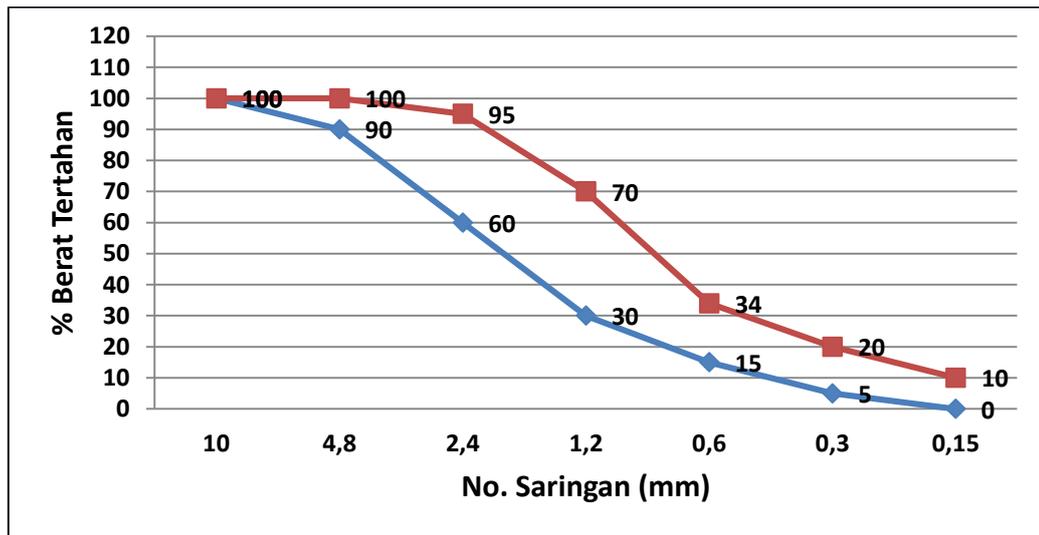
Tabel 2.1 Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
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

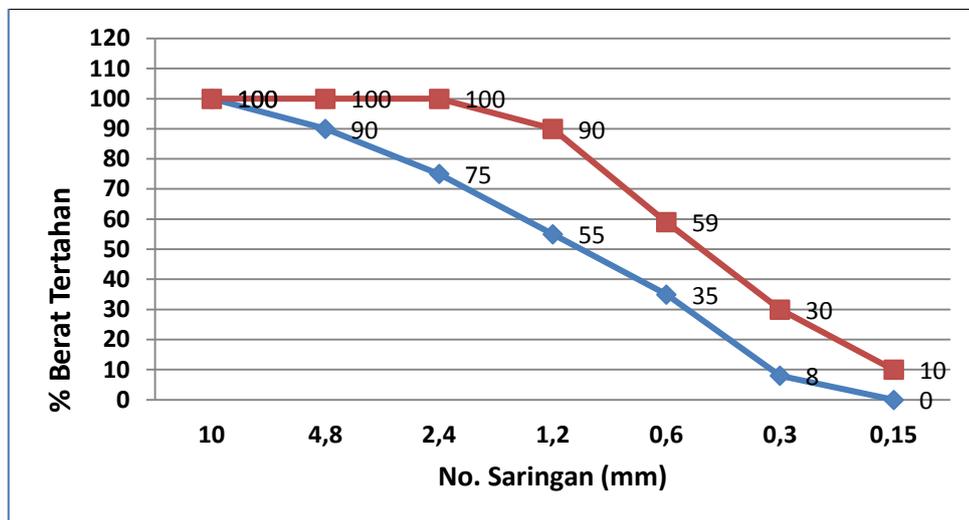
Sumber : Teknologi Beton, Ir. Tri Muliono, MT

Keterangan :

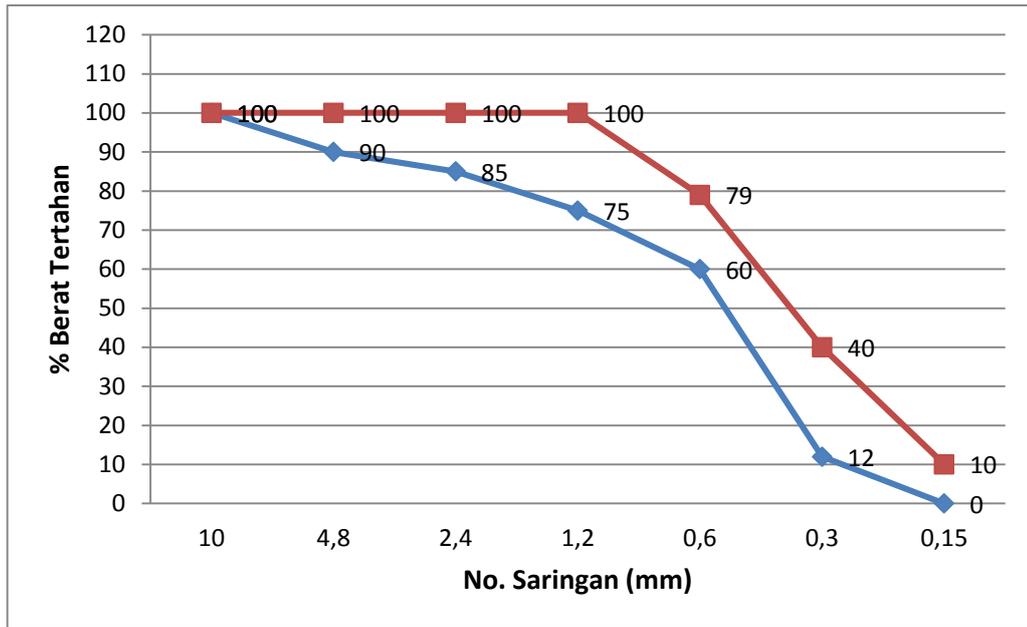
- Daerah I = Pasir Kasar
- Daerah II = Pasir agak Kasar
- Daerah III = Pasir agak Halus
- Daerah IV = Pasir Halus



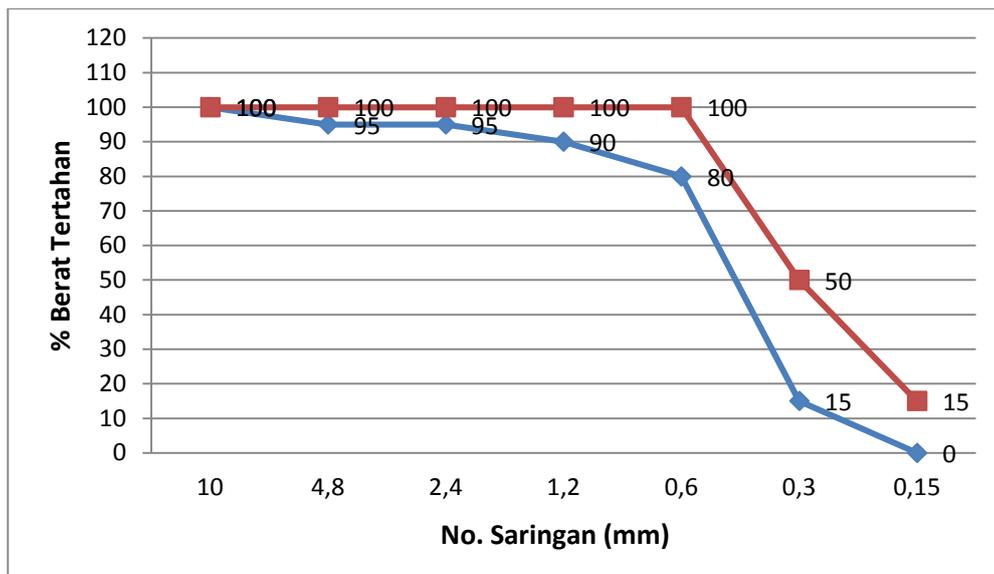
Gambar 2.1.a Daerah Gradasi Pasir Kasar
 Sumber : Teknologi Beton, Ir Tri Mulyono ME



Gambar 2.1.b Daerah Gradasi Pasir Agak Kasar
 Sumber : Teknologi Beton, Ir Tri Mulyono MT



Gambar 2.1.c Daerah Gradasi Pasir Agak Halus
 Sumber : Teknologi Beton, Ir Tri Mulyono MT



Gambar 2.1.d Daerah Gradasi Pasir Halus
 Sumber : Teknologi Beton, Ir Tri Mulyono MT

Menurut British Standar (B.S), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik, sebaiknya masuk dalam batas-batas yang tercantum dalam tabel 2.2 dibawah ini :

Tabel 2.2 Batas Gradasi Agregat Kasar menurut B.S

Lubang Ayakan MM	Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maks		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95-100	100	100
20	30-70	95-100	100
12.5	-	-	90-100
10	Okt-35	25-35	40-85
4.8	0-5	0-10	0-10

Sumber : Teknologi Beton, Ir Tri Mulyono MT

Gradasi yang baik kadang sulit didapatkan langsung dari suatu tempat. Dalam praktek biasanya dilakukan pencampuran agar didapat gradasi yang baik antara agregat kasar dan agregat halus.

b. Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (fineness modulus) adalah suatu indek yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran agregat.

Modulus halus butir ini didefinisikan sebagai jumlah persen (%) kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal diatas suatu set ayakan dan kemudian dibagi 100 (seratus). Susunan lubang ayakan itu adalah sebagai berikut : 40 mm, 20 mm, 10 mm, 4.8 mm, 2.4 mm, 1.2 mm, 0.60 mm, 0.30 mm dan 0.15 mm. Makin besar nilai modulus halus butir menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Pada umumnya pasir memiliki modulus halus butir antara 1.5 sampai 3.8 sedangkan untuk kerikil dan batu pecah biasanya 5 sampai 8.

c. Ketahanan Kimia

Pada umumnya beton tidak tahan terhadap serangan kimia. Adapun bahan kimia yang biasanya menyerang beton yaitu serangan alkali dan serangan sulfat.

Bahan-bahan kimia pada dasarnya bereaksi dengan komponen-komponen tertentu dari pasta semen yang telah mengeras sebagian besar tergantung pada jenis semen yang digunakan, seperti yang diuraikan dibagian semen Portland. Ketahanan terhadap serangan kimia bertambah dengan bertambahnya kedepan terhadap air.

d. Kekekalan

Sifat ketahanan agregat terhadap perubahan cuaca disebut ketahanan cuaca atau kekekalan. Sifat ini merupakan petunjuk kemampuan agregat untuk menahan perubahan volume yang berlebihan yang diakibatkan perubahan-perubahan pada kondisi lingkungan, misalnya pembekuan dan pencairan, perubahan suhu, musim kering dan musim hujan yang berganti-ganti.

Syarat mutu untuk agregat normal adalah sebagai berikut :

1. Agregat halus jika diuji dengan larutan garam sulfat (Natrium Sulfat, NaSO_4), bagiannya yang hancur maksimum 10% dan jika diujidengan Magnesium Sulfat (MgSO_4) bagiannya yang hancur maksimum 15%.
2. Agregat halus jika diuji dengan larutan garam sulfat (Natrium Sulfat, NaSO_4), bagiannya yang hancur maksimum 12% dan jika diuji dengan Magnesium Sulfat (MgSO_4) bagiannya yang hancur maksimum 18%.

e. Perubahan Volume

Faktor utama yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan dalam volume adalah kombinasi reaksi kimia antar semen dengan air seiring dengan mengeringnya beton. Jika agregat mengandung senyawa kimia yang dapat mengganggu proses hidrasi pada semen, maka beton yang berbentuk akan mengalami keretakan. ASTM C.330, memberikan ketentuan bahwa susut kering untuk agregat tidak boleh melebihi 0.10%.

f. Kotoran Organik

Bahan-bahan organik yang biasa dijumpai terdiri dari daun-daunan yang membusuk, humus dan asam. Apabila agregat terlalu banyak mengandung bahan-bahan organik maka proses hidrasi akan terganggu sehingga dapat menyebabkan penurunan mutu pada beton yang dihasilkan.

Agregat dapat dibedakan menjadi beberapa jenis :

a. Jenis agregat berdasarkan berat

Ada 3 jenis agregat berdasarkan beratnya, yaitu :

1. Agregat normal yaitu agregat yang memiliki berat isi tidak kurang dari 1200 kg/m^3 .
2. Agregat ringan yaitu agregat yang memiliki berat isi $350 - 880 \text{ kg/m}^3$ untuk agregat kasarnya dan $750 - 1200 \text{ kg/m}^3$ pada agregat halusny. Campuran dari kedua agregat tersebut memiliki berat isi maksimum 1400 kg/m^3 .
3. Agregat berat adalah agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari 2800 kg/m^3 .

b. Jenis agregat berdasarkan bentuk

Test standar yang dapat digunakan dalam menentukan bentuk agregat ini adalah ASTM D-3398. Kalsifikasi agregat berdasarkan bentuknya adalah sebagai berikut :

1. Agregat bulat
2. Agregat bulat sebagian dan tidak teratur
3. Agregat bersudut
4. Agregat panjang
5. Agregat pipih
6. Agregat pipih dan panjang

c. Jenis agregat berdasarkan tekstur permukaan

Jenis agregat berdasarkan tekstur permukaan dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Agregat licin/halus (glassy)

Agregat jenis ini lebih sedikit membutuhkan air dibandingkan dengan agregat permukaan kasar. Dari hasil penelitian kekasaran agregat akan menambah kekuatan gesekan antara pasta semen dengan permukaan butir. Sehingga beton yang menggunakan agregat licin cenderung mutunya rendah.

2. Berbutir (granular)

Pecahan agregat jenis ini berbentuk bulat dan seragam.

3. Kasar

Pecahannya kasar dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar yang mengandung bahan-bahan berkilat yang tidak dapat dengan terlihat jelas melalui pemeriksaan visual.

4. Kristalin (crystalline)

Agregat jenis ini mengandung Kristal-kristal yang Nampak dengan jelas melalui pemeriksaan visual.

5. Berbentuk sarang lebah (honeycombs)

Tampak dengan jelas pori-porinya dan rongga-rongganya. Melalui pemeriksaan visual, kita dapat melihat lubang-lubang pada batuannya.

d. Jenis agregat berdasarkan ukuran butir nominal

Dari ukurannya, agregat dapat dibedakan menjadi 2 golongan yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat halus adalah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4.8 mm (SII.0052,1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5.0 mm (BS.812,1976)
2. Agregat kasar adalah agregat yang semua butirnya tertinggal ayakan berlubang 4.8 mm (SII.0052,1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5.0 mm (BS.812,1976)

e. Jenis agregat berdasarkan gradasi

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran agregat. Distribusi ini bervariasi dapat dibedakan menjadi 3 yaitu :

1. Gradasi sela (gap gradation)

Jika salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada 1 set ayakan tidak ada, maka gradasi ini menunjukkan garis horizontal dalam grafiknya.

Keistimewaan dari gradasi ini antara lain :

- a. Pada nilai Faktor Air Semen tertentu, kemudahan pengerjaan akan lebih tinggi bila kandungan pasir lebih sedikit.
- b. Pada kondisi kelecakan yang tinggi, lebih cenderung mengalami segregasi, oleh karena itu gradasi sela dipakai pada tingkat kemudahan pekerjaan yang rendah, yang pematatannya dengan penggetaran (vibration)
- c. Gradasi ini tidak berpengaruh buruk terhadap kekuatan beton.

2. Gradasi menerus

Didefinisikan jika agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Agregat ini lebih sering dipakai dalam campuran beton untuk mendapatkan angka pori yang kecil dan kemampuan tinggi sehingga terjadi interlocking dengan baik, campuran beton membutuhkan variasi ukuran agregat. Dibandingkan dengan gradasi sela atau seragam, gradasi menerus adalah yang paling baik.

3. Gradasi Seragam

Agregat yang memiliki ukuran yang sama didefinisikan sebagai agregat seragam. Agregat ini terdiri dari batas yang sempit dari ukuran fraksi, dalam diagram terlihat garis yang hampir tegak/vertical. Agregat dengan gradasi ini biasanya dipakai untuk beton ringan yaitu jenis beton tanpa pasir, atau untuk mengisi agregat gradasi sela, atau untuk campuran agregat yang kurang baik atau tidak memenuhi syarat.

1. Agregat Halus



Gambar 2.2 Agregat Halus
Sumber Dukumentasi Penelitian 2016

Agregat halus (pasir) yang digunakan sebagai bahan didalam perencanaan campuran beton adalah merupakan butiran-butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat dan ukuran butir terletak antara 0.075-4.75 mm.

Pasir alam dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu :

a. Pasir galian

Pasir yang diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam.

b. Pasir sungai

Pasir ini diperoleh langsung dari dasar sungai, yang pada umumnya berbutir halus dan bulat akibat proses gesekan.

c. Pasir pantai

Pasir pantai berasal dari sungai yang mengendap dimuara sungai (dipantai) atau hasil gerusan air didasar laut yang terbawa air laut dan mengendap

dipantai. Pasir pantai biasanya berbutir halus dan banyak mengandung garam. Sehingga pasir laut diteliti terlebih dahulu sebelum dipakai.

Adapun persyaratan menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI '71), bahwa agregat halus yang digunakan sebagai bahan campuran beton adalah :

- a. Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan – batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan alat – alat pemecah batu.
- b. Agregat halus yang digunakan harus terdiri dari butir – butiran yang tajam, keras serta bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh – pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian – bagian yang dapat melalui ayakan 0.063 mm. apabila kadar lumpur melebihi 5%, maka agregat halus harus dicuci.
- d. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan – bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abram – Harder (dengan larutan NaOH)
- e. Agregat halus harus terdiri dari butir – butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak harus memenuhi syarat – syarat berikut :
 - Sisa diatas ayakan 4 mm harus minimum 2% berat.

- Sisa diatas ayakan 1 mm harus minimum 10% berat.
- Sisa diatas ayakan 0.25 mm, harus berkisar antara 80% dan 95% berat.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar ialah agregat yang semua butirnya tertinggal pada ayakan berlubang 4.8 mm (SII.0052,1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5.0 mm (BS.812,1976).Adapun persyaratan menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI '71) bahwa agregat kasar yang digunakan sebagai bahan campuran beton adalah :

- a. Agregat kasar dalam beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan – batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu.
- b. Agregat kasar harus terdiri dari butir – butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir – butir yang pipih hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir – butir yang pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir – butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh – pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur adalah bagian – bagian yang dapat melalui ayakan 0.063 mm. apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat kasar harus dicuci.

- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat – zat yang dapat merusak beton, seperti zat – zat yang reaktif alkali.
- e. Kekerasan dari butir – butir agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari Rudeloff dengan beban penguji 20T, dengan harus memenuhi syarat – syarat berikut :
- Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9.5 – 19 mm lebih dari 24% berat.
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22%.

Atau dengan mesin pengaus Los Angeles, dengan tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butir – butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak harus memenuhi syarat – syarat berikut :
- Sisa diatas ayakan 31.5 mm harus 0% berat.
 - Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90 – 98% berat.
 - Selisih antara sisa – sisa komulatif diatas 2 ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
- b. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih daripada $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang – bidang samping dari cekatan, $\frac{1}{3}$ dari tebal plat atau $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih minimum diantara batang – batang atau berkas – berkas tulangan. Penyimpangan dari

pembatasan ini diijinkan, apabila menurut penilaian pengawas ahli, cara – cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa hingga menjamin tidak terjadinya sarang – sarang kerikil.

3. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa – senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan mengurangi mutu beton, bahkan dapat mengubah sifat – sifat beton yang dihasilkan.

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi perbandingan air dengan semen atau biasa disebut Faktor Air Semen. Penggunaan air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton.

Air yang diperlukan pada campuran beton dipengaruhi oleh faktor – faktor dibawah ini :

- a. Ukuran agregat maksimum semakin besar maka kebutuhan air menurun.
- b. Bentuk butir, untuk bentuk bulat maka kebutuhan air menurun sedangkan untuk batu pecah diperlukan lebih banyak air.

- c. Gradasi agregat, dimana bila gradasi baik kebutuhan air akan menurun untuk kelecakan yang sama.
- d. Kotoran dalam agregat, makin banyak kotoran pada agregat maka kebutuhan air meningkat.
- e. Jumlah agregat halus, jika agregat halus sedikit maka kebutuhan air semakin menurun.

Menurut SNI – 03 – 2847 – 2002 bahwa air yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan – bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik atau bahan – bahan lainnya yang merugikan beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut :
 - Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

2.3 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekanan per satuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang

kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Pengujian kuat tekan biasanya digunakan pada benda uji silinder dan kubus.



Gambar 2.3 Uji kuat tekan beton
Sumber Dokumentasi penelitian 2016

Untuk pengujian laboratorium perlu diketahui bentuk benda uji yang akan dibuat. Setiap bentuk benda akan memiliki faktor bentuk yang berbeda – beda. Faktor bentuk benda uji dapat dilihat pada tabel 2.3 :

Tabel 2.3 Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Berbagai bentuk Benda uji

Benda Uji	Perbandingan Kuat Tekan
Kubus 15 x 15 x 15 cm	1.00
Kubus 20 x 20 x 20 cm	0.95
Silinder Ø 15 cm, h = 30 cm	0.83

Sumber : Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI '71)

Rumus – rumus yang digunakan pada perhitungan kuat tekan beton :

$$\sigma_b = \frac{P}{A \cdot F_u \cdot F_b} \dots\dots\dots \text{pers 2.1}$$

- Dimana
- σ_b = Kekuatan Tekan
 - P = Beban
 - A = Luas Penampang Benda Uji
 - F_u = Faktor Umur
 - F_b = Faktor Bentuk

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum_1^N \sigma_b}{A \cdot F_u \cdot F_b} \dots\dots\dots \text{pers 2.2}$$

- Dimana
- σ'_{bm} = Kuat Tekan Beton Rata – rata
 - N = Jumlah Benda Uji

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - k \cdot S \dots\dots\dots \text{pers 2.3}$$

- Dimana
- σ'_{bk} = Kuat Tekan Beton Karakteristik
 - k = Bilangan yang tergantung pada banyaknya Benda Uji
 - S = Standar Deviasi

Faktor – faktor yang mempengaruhi kekuatan beton yaitu :

1. Umur Beton

Kuat tekan beton akan semakin bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksudkan disini adalah sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton mula – mula cepat, lama – kelamaan laju kenaikan tersebut semakin lambat. Sehingga sebagai standar kuat tekan beton ialah kuat tekan beton pada umur 28 hari.

Tabel 2.4 Rasio Kuat Tekan Beton pada berbagai Umur (PBI 1971)

Umur Beton (Hari)	3	7	14	21	28	365
Semen Portland Biasa	0.40	0.65	0.88	0.95	1	1.35
Semen Portlan dengan kekuatan awal yang tinggi	0.55	0.75	0.90	0.95	1	1.20

Sumber : Teknologi Beton, Ir. Kardiyono Tjokrodimuljo, ME

2. Faktor Air Semen

Faktor air semen ialah perbandingan berat antara air dan semen Portland didalam campuran adukan beton. Hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan Duff Abrams (1919) sebagai berikut :

$$f'c = \frac{A}{B^{1.5x}} \dots\dots\dots \text{pers 2.4}$$

Dimana $f'c$ = Kuat Tekan Beton

X = fas (Faktuor Air Semen)

A,B = Konstanta

Tabel 2.5 Hubungan Antara Kuat Tekan dengan Faktor Air Semen (ACI 211.1)

Kuat Tekan 28 hari (MPa)	Faktor Air – Semen	
	Beton Biasa	Beton Air – entrain
45	0.38	0.3
40	0.42	0.34
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45

Sumber : Teknologi Beton, Ir. Tri Mulyono, MT

a. Kepadatan

Kekuatan beton berkurang jika kepadatan beton berkurang.

b. Jumlah Pasta Semen

Pasta semen dalam beton berfungsi untuk merekatkan butir – butir agregat. Sehingga jika pasta semen terlalu sedikit maka rekatan antar butir kurang kuat yang menyebabkan kuat tekan beton berkurang.

c. Jenis Semen

Jenis semen sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Seperti pada pembahasan sebelumnya, bahwa semen Portland memiliki sifat tertentu. Misalnya cepat mengeras dan sebagainya yang sangat mempengaruhi kuat tekan beton.

d. Sifat Agregat

Beberapa sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan beton :

1. Kekasaran Permukaan.
2. Bentuk Agregat
3. Kuat Tekan Agregat..

2.4 Slump

Slump ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan dan dipadatkan atau dapat memenuhi syarat workability. Cara uji Slump ialah salah satu cara untuk mengukur kelecakan beton segar, yang dipakai pula untuk memperkirakan tingkat

kemudahan dalam pengerjaannya. Dimana semakin besar nilai slump berarti beton segar makin encer dan ini makin mudah dikerjakan.



Gambar 2.4 Slump test
(Sumber Penelitian 2016)

2.5 Standar Deviasi

Standar deviasi adalah alat ukur tingkat mutu pelaksanaan pembuatan pembetonan. Nilai S ini digunakan sebagai salah satu data masukan pada perencanaan campuran beton.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fc - fcr)^2}{N-1}} \dots \dots \dots \text{pers 2.5}$$

Rumus standar deviasi :

- Dengan :
- S = Deviasi Standar
 - Fc = Kuat tekan masing-masing silinder beton
 - Fcr = Kuat tekan rata-rata
 - N = Banyaknya nilai Kuat tekan beton

Tabel 2.6 Nilai Standar Deviasi

Volume Pekerjaan	Mutu Pelaksanaan (MPa)		
	Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil (<1000 m ³)	4.5 < s.d ≤ 5.5	5.5 < s.d ≤ 6.5	6.5 < s.d ≤ 8.5
Sedang (1000 – 3000 m ³)	3.5 < s.d ≤ 4.5	4.5 < s.d ≤ 5.5	5.5 < s.d ≤ 6.5
Besar (>3000 m ³)	2.5 < s.d ≤ 3.5	3.5 < s.d ≤ 4.5	4.5 < s.d ≤ 5.5

Sumber : Teknologi Beton, Ir. Kardiyono Tjokrodinuljo, ME

2.6 Serbuk Kayu



Gambar 2.5 Serbuk kayu
(Sumber Dokumentasi penelitiin 2016)

Serbuk kayu adalah sisa-sisa dari pengolahan kayu yang dapat digunakan sebagai bahan tambah untuk kuat tekan beton. Menurut Arif (2006), penambahan serat berupa serabut kelapa dengan volume fraksi (V_f) sebanyak 0,25 % dari volume total beton, dan panjang serat 90 mm ke dalam adukan beton, memiliki pengaruh terhadap perubahan nilai kuat geser, beban retak pertama, workability, kuat desak dan modulus elastisitas.

N. Balaguru, P. Shah, (1992), Serbuk kayu merupakan salah satu serat alami (cellulose fibers) yang dapat digunakan sebagai zat tambah dalam campuran beton. Kayu terdiri dari selulosa (cellulose), hemiselulosa, dan lignin. Lignin merupakan unsur dari sel kayu yang mempunyai pengaruh yang buruk terhadap kekuatan serat (fibers). Kuat tarik selulosa (cellulose) setelah diteliti sebesar 2000 MPa, sedangkan unsur lignin dalam kayu dapat menurunkan kuat tarik sebesar 500 MPa. Menurut Felix Yap (1964) pada pembebanan tekan biasanya kayu bersifat elastis sampai batas proposional. Terhadap tarikan, sifat-sifat elastisitas untuk kayu tergantung dari keadaan lengas. Kayu yang berkadar lengas rendah memperlihatkan batas elastisitas yang agak rendah, sedangkan kayu yang berkadar lengas tinggi terdapat perubahan bentuk yang permanen pada pembebanan. Berikut ini terdapat kadar lengas kayu yaitu :

- a. Kadar lengas kayu berat : 40%
- b. Kadar lengas kayu ringan : 200%
- c. Fiber Saturation Point (FSP) 24%-30% Sesudah FSP, pada pengeringan selanjutnya akan memperlihatkan kebaikan sifat-sifat mekanisnya disertai arah tangensial $\pm 7\%$ arah radial 5% dan arah aksial kecil sekali.

d. Kadar lengas kayu kering udara : 12%-18% rata-rata 15%

e. Kadar lengas kering mutlak (kering dalam oven) adalah 0%

Berdasarkan penelitian kekuatan tarik kayu lebih tinggi dari pada kekuatan tekan yaitu 2 – 3 kali lebih besar. Bahan penambah yang dipakai pada penelitian ini adalah serbuk sisa penggergajian pabrik pengolahan kayu. Jenis kayu yang digunakan adalah jenis kayu kulim. Menurut Daftar kayu Indonesia, kayu kulim termasuk kelas kuat I-II, dan sifat susutnya termasuk kelas sedang.

2.6.1 Komponen Kimia Dalam Kayu

Kayu sebagian besar tersusun atas tiga unsur yaitu unsur C, H dan O. Unsur-unsur tersebut berasal dari udara berupa CO₂ dan dari tanah berupa H₂O. Namun, dalam kayu juga terdapat unsur-unsur lain seperti N, P, K, Ca, Mg, Si, Al dan Na. Unsur-unsur tersebut tergabung dalam sejumlah senyawa organik, secara umum dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu:

1. Komponen lapisan luar yang terdiri atas fraksi-fraksi yang dihasilkan oleh kayu selama pertumbuhannya. Komponen ini kering disebut dengan zat ekstraktif. Zat ekstraktif ini adalah senyawaan lemak, lilin, resin dan lain-lain.
2. Komponen lapisan dalam terbagi menjadi dua fraksi yaitu fraksi karbohidrat yang terdiri atas selulosa dan hemiselulosa, fraksi non karbohidrat yang terdiri dari lignin.

Komponen kimia dalam kayu mempunyai arti yang penting, karena menentukan kegunaan sesuatu jenis kayu, dengan mengetahuinya kita dapat membedakan jenis-jenis kayu. Susunan kimia kayu digunakan sebagai pengenalan ketahanan kayu terhadap serangan makhluk perusak kayu, selain itu dapat pula

menentukan pengerjaan dan pengolahan kayu yang optimal. Komponen kimia kayu terdiri dari 3 unsur yaitu: unsur karbohidrat terdiri dari selulosa dan hemiselulosa, unsur non-karbohidrat terdiri dari lignin, unsur yang diendapkan dalam kayu selama proses pertumbuhan dinamakan zat ekstraktif

Komponen kimia kayu sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh factor tempat tumbuh, iklim dan letaknya di dalam batang atau cabang. Komponen kimia Kandungan dalam % yaitu selulosa (40-45%), lignin (18-33%), pentosan (21-24%), zat ekstraktif (1-12%), dan abu (0,22 – 6%). Komponen kimia dalam kayu mempunyai arti yang penting, karena menentukan kegunaan sesuatu jenis kayu, dengan mengetahuinya kita dapat membedakan jenis-jenis kayu. Susunan kimia kayu digunakan sebagai pengenal ketahanan kayu terhadap serangan makhluk perusak kayu, selain itu dapat pula menentukan pengerjaan dan pengolahan kayu yang optimal. Komponen kimia kayu terdiri dari 3 unsur :

1. Unsur karbohidrat terdiri dari selulosa dan hemiselulosa
2. Unsur non-karbohidrat terdiri dari lignin
3. Unsur yang diendapkan dalam kayu selama proses pertumbuhan dinamakan zat ekstraktif.

Selulosa adalah bahan kristalin untuk membangun dinding- dinding sel. Bahan dasar selulosa ialah glukosa, gula bermartabat enam, dengan rumus $C_6H_{12}O_6$. Molekul-molekul glukosa disambung menjadi molekul-molekul besar, panjang dan berbentuk rantai dalam susunan menjadi glukosa. Selulosa merupakan bahan dasar yang penting bagi industri-industri yang memakai selulosa sebagai bahan baku, misal: pabrik kertas, pabrik sutera dan lain sebagainya

Lignin merupakan bagian yang bukan karbohidrat, sebagai persenyawaan kimia yang jauh dari sederhana, tidak berstruktur, bentuknya amorf. Dinding sel tersusun oleh suatu rangka molekul selulosa, antara lain terdapat pula lignin. Kedua bagian ini merupakan suatu kesatuan yang erat, yang menyebabkan dinding sel menjadi kuat menyerupai beton bertulang besi. Selulosa laksana batang-batang besi dan lignin sebagai semen betonnya. Lignin terletak terutama dalam lamella tengah dan dinding primer. Kadar lignin dalam kayu gubal lebih tinggi daripada dalam kayu teras. (Kadar selulosa sebaliknya).

Zat ekstraktif adalah zat yang mudah larut dalam pelarut seperti: eter, alcohol, bensin dan air. Jumlah zat ekstraktif rata-rata 3 – 8%, dari berat kayu kering tanur. Termasuk di dalamnya minyak-minyakan, resin, lilin, lemak, tannin, gula, pati dan zat warna. Zat ekstraktif tidak merupakan bagian struktur dinding sel, tetapi terdapat dalam rongga sel. Zat ekstraktif memiliki arti yang penting dalam kayu karena:

1. Dapat mempengaruhi sifat keawetan, warna, bau dan rasa sesuatu jenis kayu
2. Dapat digunakan untuk mengenal sesuatu jenis kayu
3. Dapat digunakan sebagai bahan industri
4. Dapat menyulitkan dalam pengerjaan dan mengakibatkan kerusakan pada alat- alat pertukangan.

Zat ekstraktif memiliki peranan dalam kayu karena dapat mempengaruhi sifat keawetan, warna, bau dan rasa sesuatu jenis kayu, dapat digunakan untuk mengenal sesuatu jenis kayu, dapat digunakan sebagai bahan industri, dapat menyulitkan dalam pengerjaan dan mengakibatkan kerusakan pada alat-alat

pertukangan. Zat ekstraktif yang bersifat racun menyebabkan ketahanan terhadap pelapukan kayu. Hal ini dibuktikan bahwa ekstrak dari kayu teras lebih bersifat racun daripada ekstrak dari kayu gubal pada pohon yang sama. Serta, ketahanan terhadap pelapukan kayu teras akan berkurang jika diekstraksi dengan air panas atau dengan pelarut organik.

Distribusi komponen kimia tersebut dalam dinding sel kayu tidak merata. Kadar selulosa dan hemiselulosa banyak terdapat dalam dinding sekunder, sedangkan lignin banyak terdapat dalam dinding primer dan lamella tengah. Zat ekstraktif terdapat di luar dinding sel kayu.

Komposisi unsur – unsur kimia dalam kayu adalah:

1. Karbon 50%
2. Hydrogen 6%
3. Nitrogen 0,04 – 0,10%
4. Abu 0,20 – 0,50%
5. Sisanya adalah oksigen.