

TEKNOLOGI BAHAN I



OLEH :

Drs. MUHTAROM RIYADI,SST.

AMALIA, SPd.,SST.

Dibiayai dengan Dana SP4 Jurusan Teknik Sipil PNJ Tahun 2005

Dengan Nomor Kontrak 04A/SP-4/SI/X/2005

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DESEMBER 2005**

Halaman Pengesahan

Diktat ini telah diperiksa
Oleh Ketua Program Studi Konstruksi Bangunan Sipil

Nunung Martina, ST.,MSi.

NIP : 131907748

Disahkan pada tanggal 12 Desember 2005

Oleh Ketua Jurusan Teknik Sipil

Budi Damianto, ST.,MSi.

NIP. 131405410

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan	ii
Daftar Isi.....	iii
Kata Pengantar	v
Pendahuluan	vi
BAB I. BATU ALAM	
1.1 Penegrtian	1
1.2 Siklus Terbentuknya Batu Alam	2
1.3 Jenis Batu Alam.....	3
1.4 Sifat Fisik Batu Alam dan Pengujiannya.....	7
1.5 Syarat Mutu Batu Alam Untuk Bahan Bangunan	9
BAB II. AGREGAT	
2.1 Pendahuluan	11
2.2 Klasifikasi Agregat	11
2.3 Penambangan dan Pengolahan Agregat.	12
2.4 Penimbunan dan penyimpanan agregat.	15
2.5 Sifat fisik dan pengujian agregat	15
2.6 Syarat agregat menurut SII, ASTM dan BS.	19
2.7 Susunan butir (gradasi) agregat kasar dan halus	27
2.8 Menggabungkan gradasi agregat	38
BAB III. BAHAN PEREKAT HIDROLIS	
3.1 Gips	53
3.2 Kapur	55
3.3 Pozollan/Trass	63
3.4 Semen Portland	66
BAB IV. AIR	
4.1 Jenis-Jenis Air Untuk Campuran Beton	81
4.2 Syarat-Syarat Air dan pengaruhnya Untuk Beton	82

BAB V .	ADMIXTURE	
	5.1 Jenis-Jenis Admixture	85
	5.2 Pemakaian Admixture dalam Beton	89
BAB VI.	LOGAM	
	6.1 Produksi Logam	91
	6.2 Logam Paduan	93
	6.3 Klasifikasi Baja	94
	6.4 Sifat Fisik dan Mekanis Baja	96
BAB VII.	KERAMIK BANGUNAN	
	7.1 Bahan baku keramik	100
	7.2 Proses pembuatan keramik bangunan	102
	7.3 Macam-macam bahan bangunan keramik Berat	111
	7.4 Macam-Macam bahan bangunan keramik Halus	115
	7.5 Glasir dan pigmen	115
	7.6 Refraktori	118
BAB VIII .	KAYU DAN BAMBU	
	8.1 Sifat kayu dan pertumbuhannya	121
	8.2 Bagian-bagian kayu	121
	8.3 Jenis dan klasifikasi kayu	123
	8.4 Cacat pada kayu	124
	8.5 Pengawetan kayu	127
	8.6 Spesifikasi/Standard kayu bangunan	132
	8.7 Sifat fisik dan mekanis kayu	132
	8.8 Pengujian Sifat kayu	135
	8.9 Jenis-Jenis Bambu, Siklus Hidup, Anatomi Bambu	140
	8.10 Sifat Fisik dan Mekanis Bambu	143
	8.11 Pengolahan Bambu	145
	8.12 Pemakaian Bambu Pada Bangunan	146

DAFTAR PUSTAKA

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan penulisan diktat dengan judul " Teknologi Bahan I".

Diktat ini disusun dengan tujuan sebagai bahan acuan mahasiswa untuk mata kuliah Teknologi Bahan I Jurusan Teknik Sipil.

Selama pelaksanaan penulisan diktat ini kami banyak mendapatkan bantuan dari semua pihak. Oleh Karena itu dalam kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan kepada kami.

Kami menyadari bahwa hasil tulisan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan diktat ini. Kami berharap semoga diktat ini dapat bermanfaat bagi kami khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Depok, Desember 2005

Penyusun

PENDAHULUAN

Perkembangan industri konstruksi semakin berkembang pesat. Perkembangan ini diikuti oleh penemuan-penemuan inovasi bahan bangunan. Untuk mendukung pembangan teknologi konstruksi yang semakin maju diperlukan material/ bahan bangunan yang bermutu dan berkualitas tinggi. Oleh karena itu perlu pengetahuan tentang jenis dan karakteristik dari material/bahan konstruksi.

Bahan-bahan bangunan utama yang memikul beban dan biasa digunakan pada konstruksi adalah beton. Untuk menghasilkan beton yang baik dan mempunyai kekuatan sesuai persyaratan konstruksi diperlukan pengetahuan tentang bahan-bahan penyusun beton. Bahan-bahan penyusun beton terdiri dari agregat, bahan perekat dan air. Perkembangan akhir-akhir ini penggunaan admixture/bahan tambah untuk memperbaiki sifat beton semakin umum digunakan. Buku ini menguraikan tentang batu alam sebagai dasar untuk mempelajari agregat, agregat, bahan perekat, air dan admixture.

Selain bahan bangunan penyusun beton, pengetahuan tentang bahan logam/baja juga sangat diperlukan, karena untuk mengetahui karakteristik baja yang digunakan untuk tulangan beton maupun baja konstruksi (baja profil). Bahan bangunan yang juga akan dibahas adalah tentang keramik, kayu dan bambu. Bahan-bahan ini sangat umum digunakan di bidang bangunan. Oleh karena itu perlu pengetahuan tentang bahan-bahan tersebut.

Buku ini terdiri dari 8 bab yang meliputi : bab I tentang batu alam, bab II tentang agregat, bab III bahan perekat hidrolis, bab IV air, bab V admixture, bab VI logam, bab VII keramik bangunan dan bab VIII tentang kayu dan bambu.

Adapun standar-standar yang digunakan untuk pengujian bahan, syarat mutu bahan digunakan standar Indonesia terdiri dari : SII, SNI, SK-SNI, PKKI dan Peraturan Bahan Bangunan Indonesia. Sedangkan peraturan asing yang digunakan adalah ACI, ASTM dan British Standard tentang bahan bangunan.

BAB I.

BATU ALAM

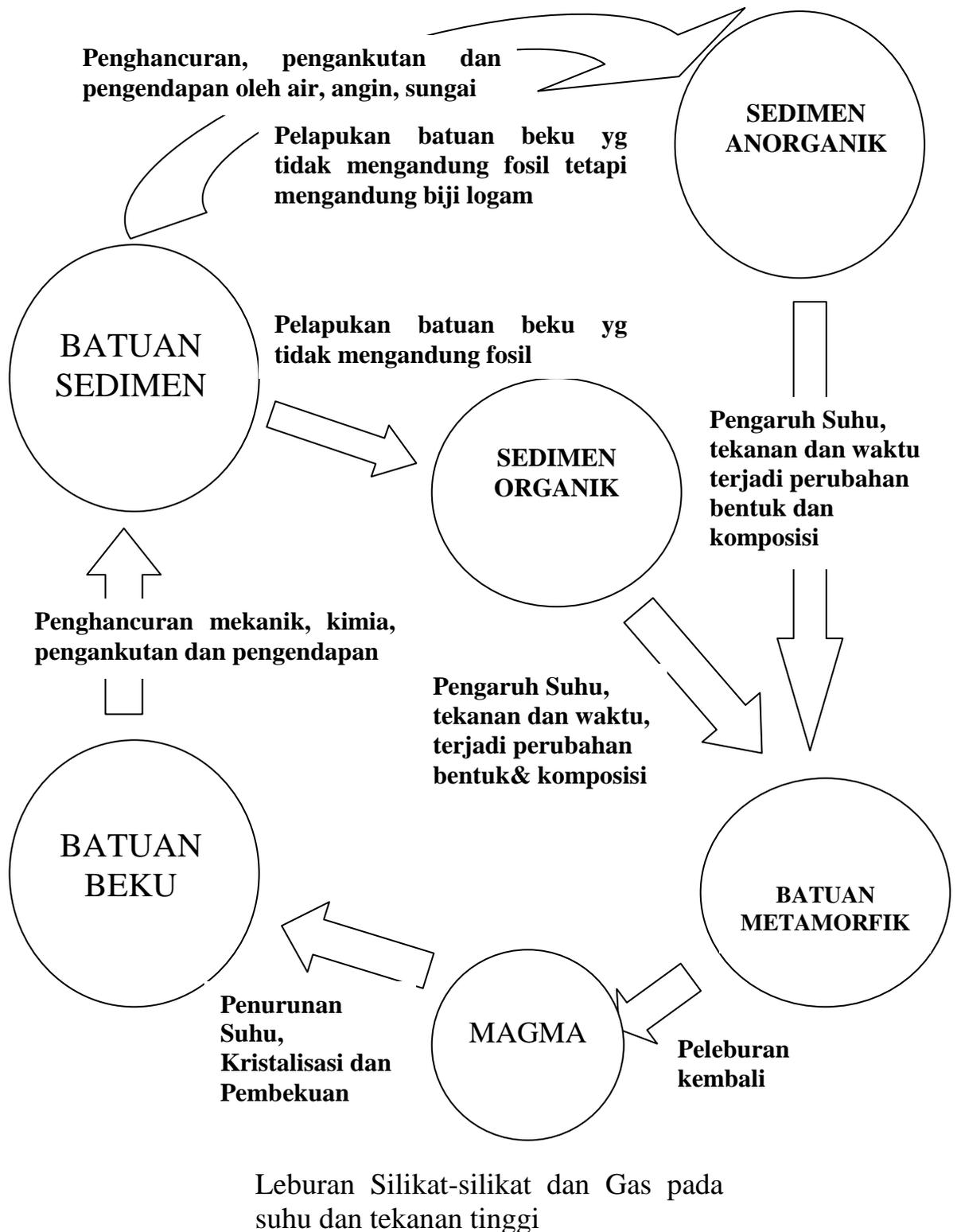
1.1. PENGERTIAN:

Batu alam adalah : semua bahan yang menyusun kerak bumi dan merupakan suatu agregat mineral-mineral yang telah mengeras akibat proses secara alami seperti, membeku, pelapukan, mengendap dan adanya proses kimia.

Unsur-unsur yang membentuk batuan yang merupakan lapisan (kerak) luar bumi :

- Oksigen (O₂) : 49,4 %
- Silisium (Si) : 25,4 %
- Aluminium (Al) : 7,5 %
- Besi (Fe) : 4,7 %
- Kalsium (Ca) : 3,4 %
- Natrium (Na) : 2,6 %
- Kalium (K) : 2,4 %
- Magnesium (Mg) : 2,0 %

1.2. SIKLUS (TERBENTUKNYA) BATU ALAM



1.3. JENIS-JENIS BATU ALAM

Menurut proses kejadiannya :

- ❖ Batuan Beku, yaitu batuan alam yang terjadi karena magma yang berasal dari inti bumi mendapat tekanan dalam keadaan panas sekali dan keluar dalam bentuk cair ke permukaan bumi. Karena pengaruh udara dingin, cairan ini membeku menjadi batu. Batuan ini biasanya berupa batu gunung yang massif dan tebal lapisannya. Contoh batuan beku adalah : obsidian, perlit, Andesit, basalt, dll.
 - ❖ Batuan Sedimen (batuan lapisan/endapan), yaitu batuan karena pengerasan, pengaruh cuaca, terbawa arus sungai kemudian terendapkan pada dasar sungai, danau atau laut. Contoh batuan sedimen adalah : kapur (batu gamping), batu bara, batu karang, dll.
 - ❖ Batuan metamorf (batuan alihan/batuan ubahan), yaitu batuan sediment yang terkena pengaruh panas dan tekanan yang cukup besar sehingga terjadi perubahan pada bentuk dan komposisi. Contoh batuan metamorf adalah : batu bara menjadi intan, batu marmer, batu sabak, antrasit, dll.
 - ❖ Batuan Robohan, yaitu semacam batuan lapisan yang terdiri dari bermacam mineral kontak. Contoh : pasir, kerikil, batu kali, batu cadas, batu paras, dll.
- **Menurut tegangannya :**
- ✓ Batu lunak ($4 \text{ kg/cm}^2 - 8 \text{ kg/cm}^2$), yaitu batu alam yang mudah digali dan dipatahkan dengan tangan. Batu ini mengalami proses pelapukan dan banyak mengandung retakan.
 - ✓ Batu sedang ($8 \text{ kg/cm}^2 - 18 \text{ kg/cm}^2$), batuan alam ini sukar digali dengan peralatan tangan. Bagian pecahan/patahan tidak dapat dipatahkan dengan tangan tetapi mudah dihancurkan dengan palu.

- ✓ Batu keras ($16 \text{ kg/cm}^2 - 50 \text{ kg/cm}^2$), yaitu batu alam yang hanya dapat digali dengan memakai bahan peledak. Batu ini tidak banyak mengandung retakan.

a) Batu Gamping (termasuk batuan sedimen)

- Secara kimia batu gamping terdiri atas kalsium karbonat (CaCO_3). Selain kalsium karbonat, di alam juga sering dijumpai batu gamping yang mengandung magnesium.
- Batu gamping ada yang bersifat padat, keras dan massif. Ada juga batu gamping yang bersifat porous.
- Pada umumnya deposit batu gamping ditemukan dalam bentuk bukit. Oleh sebab itu teknik penambangannya dilakukan dalam bentuk tambang terbuka.
- Batu gamping yang dikalsinasi (dipanaskan pada suhu $600^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C}$) akan menjadi kapur tohor dan kapur padam. Kapur ini digunakan sebagai bahan perekat hidrolis pada adukan/spesi. Batu gamping juga merupakan bahan baku pembuatan semen Portland.



Gambar 1.1. Batu Kapur

b) Dolomit

- Terjadi karena proses peresapan unsure magnesium dari air laut ke dalam batu gamping
- Berfungsi seperti batu gamping.

c) Marmer

- Merupakan hasil metamorfose dari batu gamping.
- Bersifat tahan terhadap cuaca, mudah dikerjakan, tidak tahan asam.

- Digunakan untuk pelapis dinding dan lantai.



Gambar 1.2. Batu Marmer

d) Gypsum

- Ditemukan dalam bentuk lembaran pipih, kristal, serabut di daerah batu gamping.
- Gypsum hasil penambangan diolah dengan cara dipanaskan sehingga berbentuk tepung gips.
- Digunakan untuk bahan tambah semen portland, untuk plafond dan partisi.

e) Trass

- Disebut juga sebagai posolan, terbentuk dari batuan vulkanik yang banyak mengandung feldspar dan silika seperti andesit dan granit yang telah mengalami pelapukan lanjut. Akibat proses pelapukan feldspar akan berubah menjadi mineral lempung/kaolin dan senyawa silika amorf.
- Bila dicampur dengan kapur tohor dan air akan mempunyai sifat seperti semen.
- Digunakan sebagai bahan pengikat pada adukan, trass dapat dicetak untuk membuat batako.



Gambar 1.3. Tanah Trass

f) Andesit dan basalt

- Merupakan jenis batuan beku luar (hasil pembekuan magma di permukaan bumi).
- Bersifat massif, keras, tahan terhadap hujan, mempunyai berat jenis 2,3-2,7, kuat tekan 600 – 2400 kg/cm².
- Digunakan untuk pondasi, penutup lantai, dinding. Apabila dipecah/dihancurkan dengan palu atau crusher dengan ukuran tertentu menjadi batu pecah (kerikil) dan pasir yang digunakan untuk bahan campuran beton dan jalan.

g) pasir gunung api

- Merupakan bahan lepas berbentuk butiran pasir yang dihasilkan pada saat gunung api meletus. Pada saat turun hujan di puncak gunung, maka tumpukan pasir akan lonsor terbawa air ke sungai.
- Digunakan sebagai bahan pengisi pada campuran beton, adukan, dll.



Gambar 1.4. Pasir Gunung

h) Granit dan diorit.

- Merupakan batuan beku dalam yang terjadi dari proses pembekuan magma di dalam kulit bumi.
- Bersifat keras, tahan cuaca dan asam, sukar dikerjakan, mempunyai kuat tekan 1000 – 2500 kg/cm², dengan berat jenis 2,6 – 2,7.
- Digunakan untuk pelapis dinding dan lantai.

1.4. SIFAT-SIFAT FISIK BATU ALAM DAN PENGUJIANNYA

a. Sifat Fisik batu alam untuk bangunan

- Mempunyai kuat tekan dan kuat lentur yang tinggi
- Keras dan tidak mudah hancur
- Daya serap air relative kecil
- Tahan terhadap pengaruh cuaca
- Tahan terhadap keausan

b. Pengujian Batu Alam, meliputi :

- Analisa Petrografi, analisa batuan secara mikroskopis untuk mengetahui jenis, tekstur, struktur komposisi mineral dan nama batuan.
- Analisa kimia, analisa batuan secara kimia untuk mengetahui komposisi kimia batuan.
- Analisa defraktometer sinar X, digunakan pada batuan yang berbutir sangat halus seperti tanah liat untuk mengetahui unsur kimianya.
- Analisa besar butir, dilakukan dengan cara diayak menggunakan ayakan berjenjang yang mempunyai ukuran tertentu.
- Analisa berat jenis (bulk density), dilakukan dengan cara : batuan dipanaskan dalam oven pada suhu 100°C selama 24 jam, kemudian didinginkan pada suhu kamar. Batuan ditimbang beratnya dan diukur volumenya. Berat jenis batuan diperoleh dengan membagi berat dengan volume.
- Pengujian Daya serap air pada batuan.
- Pengujian ketahanan batuan terhadap pelapukan, untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh reaksi kimia unsur-unsur alkali (K dan Na) pada batuan. Unsur-unsur ini apabila prosentasenya tinggi, akan merugikan bila digunakan untuk agregat pada konstruksi bangunan.

- Pengujian ketahanan batuan terhadap keausan, ketahanan batuan terhadap aus ini diartikan sebagai sifat daya tahan batuan terhadap penggosokan bahan lain. Pengujian dilakukan menggunakan bola-bola baja yang terdapat pada mesin LOS ANGELES.
- Pengujian Kuat Tekan Bebas. Untuk mencegah kerusakan konstruksi akibat beban yang bekerja, maka agregat harus cukup kuat menahan tekanan. Kuat tekan batuan adalah kemampuan batuan dalam menahan beban yang diberikan sehingga batuan tersebut pertama kali mengalami deformasi.

1.5. SYARAT MUTU BATU ALAM UNTUK BANGUNAN

NO	SIFAT-SIFAT	BATU ALAM UNTUK					
		PONDASI BANGUNAN			TONGGAK DAN BATU TEPI JALAN	PENUTUP LANTAI ATAU TROTOIR	BATU HIAS ATAU TEMPEL
		BERAT	SEDANG	RINGAN			
1	Kuat tekan rata-rata minimum (kg/cm^2)	1500	1000	800	500	600	200
2	Ketahanan hancur Rudellof						
	a. Index, min	~	~	~	~	~	~
	b. bag. Tembus 2 mm maksimum (%)	~	~	~	~	~	~
3	Ketahanan geser Los angeles, bag. Tembus 1,7 mm maksimum (%)	27	40	50	~	~	~
4	Ketahanan Aus gesekan dengan Bauschinger, mm/menit maksimum	~	~	~	~	0,16	~
5	Penyerapan air, maksimum	5	5	8	5	5	5* 12**
6	Kekekalan bentuk dengan Na_2SO_4 bagian :						
	a. hancur, mak %	12	12	12	12	12	12
	b. Retak, pecah, cacat	tidak retak dan cacat					

* untuk tempat terlindung air

** untuk tempat tidak terlindung air

RANGKUMAN

- *Batu alam adalah semua bahan yang menyusun kerak bumi dan merupakan suatu agregat mineral-mineral yang telah mengeras akibat proses secara alami seperti, membeku, pelapukan, mengendap dan adanya proses kimia.*
- *Jenis-jenis batu alam menurut terjadinya, yaitu batuan beku, batuan sedimen dan batuan metamorf.*
- *Jenis batu alam yang biasa digunakan sebagai bahan bangunan adalah batu gamping, dolomit, andesit, basalt, marmer, tras, pasir gunung berapi, batuan gips dan granit.*
- *Sifat Fisik batu alam yang digunakan untuk bangunan adalah : Mempunyai kuat tekan dan kuat lentur yang tinggi, keras dan tidak mudah hancur, daya serap air relative kecil, tahan terhadap pengaruh cuaca, tahan terhadap keausan.*
- *Pengujian sifat-sifat batu alam meliputi : berat jenis, analisa besar butir, daya serap air, ketahanan terhadap pelapukan dan pengujian kuat tekan serta kekerasan.*

SOAL-SOAL LATIHAN :

1. Jelaskan syarat-syarat yang harus dipenuhi apabila batu alam akan digunakan untuk jalan (minimal 3) !
2. Jelaskan jenis-jenis pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik batu alam (min 3)!
3. Jelaskan sifat-sifat fisik yang harus dimiliki batu alam yang digunakan untuk bahan bangunan !
4. Jelaskan jenis-jenis batu alam yang digunakan untuk bahan bangunan !
5. Jelaskan siklus terjadinya batu alam!

BAB II. AGREGAT

2.1. PENDAHULUAN

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Agregat menempati sebanyak kurang lebih 70 % dari volume beton atau mortar. Oleh karena itu sifat-sifat agregat sangat mempengaruhi sifat-sifat beton yang dihasilkan.

2.2. KLASIFIKASI AGREGAT

Berdasarkan asalnya, agregat digolongkan menjadi :

a. *Agregat alam*

Agregat yang menggunakan bahan baku dari batu alam atau penghancurannya. Jenis batuan yang baik digunakan untuk agregat harus keras, kompak, kekal dan tidak pipih. Agregat alam terdiri dari : (1) kerikil dan pasir alam, agregat yang berasal dari penghancuran oleh alam dari batuan induknya. Biasanya ditemukan di sekitar sungai atau di daratan. Agregat beton alami berasal dari pelapukan atau disintegrasi dari batuan besar, baik dari batuan beku, sedimen maupun metamorf. Bentuknya bulat tetapi biasanya banyak tercampur dengan kotoran dan tanah liat. Oleh karena itu jika digunakan untuk beton harus dilakukan pencucian terlebih dahulu. (2) Agregat batu pecah, yaitu agregat yang terbuat dari batu alam yang dipecah dengan ukuran tertentu.

b. *Agregat Buatan*

Agregat yang dibuat dengan tujuan penggunaan khusus (tertentu) karena kekurangan agregat alam. Biasanya agregat buatan adalah agregat ringan. Contoh agregat buatan adalah : Klinker dan breeze yang berasal dari limbah pembangkit tenaga uap, agregat yang berasal dari tanah liat yang dibakar (*leca* = *Lightweight Expanded Clay Agregate*), cook breeze berasal dari limbah sisa pembakaran arang, hydite berasal dari tanah liat (shale) yang dibakar pada tungku putar, lelite terbuat dari batu metamorphore atau shale yang

mengandung karbon, kemudian dipecah dan dibakar pada tungku vertical pada suhu tinggi.

Berdasarkan berat jenisnya, agregat digolongkan menjadi :

- a. **Agregat berat** : agregat yang mempunyai berat jenis lebih dari 2,8. Biasanya digunakan untuk beton yang terkena sinar radiasi sinar X. Contoh agregat berat : Magnetit, butiran besi
- b. **Agregat Normal** : agregat yang mempunyai berat jenis 2,50 – 2,70. Beton dengan agregat normal akan memiliki berat jenis sekitar 2,3 dengan kuat tekan 15 MPa – 40 MPa. Agregat normal terdiri dari : kerikil, pasir, batu pecah (berasal dari alam), klingker, terak dapur tinggi (agregat buatan).
- c. **Agregat ringan** : agregat yang mempunyai berat jenis kurang dari 2,0. Biasanya digunakan untuk membuat beton ringan. Terdiri dari : batu apung, asbes, berbagai serat alam (alam), terak dapur tinggi dg gelembung udara, perlit yang dikembangkan dengan pembakaran, lempung bekah, dll (buatan).

Berdasarkan Ukuran Butirannya :

- Batu → agregat yang mempunyai besar butiran > 40 mm
- Kerikil → agregat yang mempunyai besar butiran 4,8 mm – 40 mm
- Pasir → agregat yang mempunyai besar butiran 0,15 mm – 4,8 mm
- Debu (silt) → agregat yang mempunyai besar butiran $< 0,15$ mm

Fungsi agregat di dalam beton adalah untuk :

- Menghemat penggunaan semen Portland
- Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton
- Mengurangi penyusutan pada beton
- Menghasilkan beton yang padat bila gradasinya baik.

2.3.PENAMBANGAN DAN PENGOLAHAN AGREGAT

Teknik penambangan agregat disesuaikan dengan jenis endapan, produksi yang diinginkan dan rencana pemanfaatannya.

a. *Endapan agregat kuarter/resen*

Pada jenis endapan ini, tanah penutup belum terbentuk. Endapan didapatkan di sepanjang alur sungai. Keadaan endapannya masih lepas sehingga teknik penambangan permukaan dapat dilakukan dengan alat sederhana seperti sekop dan cangkul. Hasil yg diperoleh diangkut dengan truk untuk dipasarkan. Teknik penambangan ini menghasilkan produksi agregat yang sangat terbatas. Apabila diinginkan produksi dalam jumlah banyak, maka penggalian/pengambilan dilakukan dengan showel dan backhoe. Pemilahan besar butir (untuk memisahkan ukuran pasir dan kerikil) dilakukan secara semi mekanis dengan saringan pasir. Hasil yang sudah dipisahkan kemudian diangkut dengan truk unkit dengan showel ke tempat penimbunan di luar alur sungai. Teknik penambangan ini dapat dijumpai di sepanjang Sungai Boyong Gunung Merapi dan Sungai Cikunir Gunung Galunggung.

b. *Endapan agregat yang telah membentuk formasi*

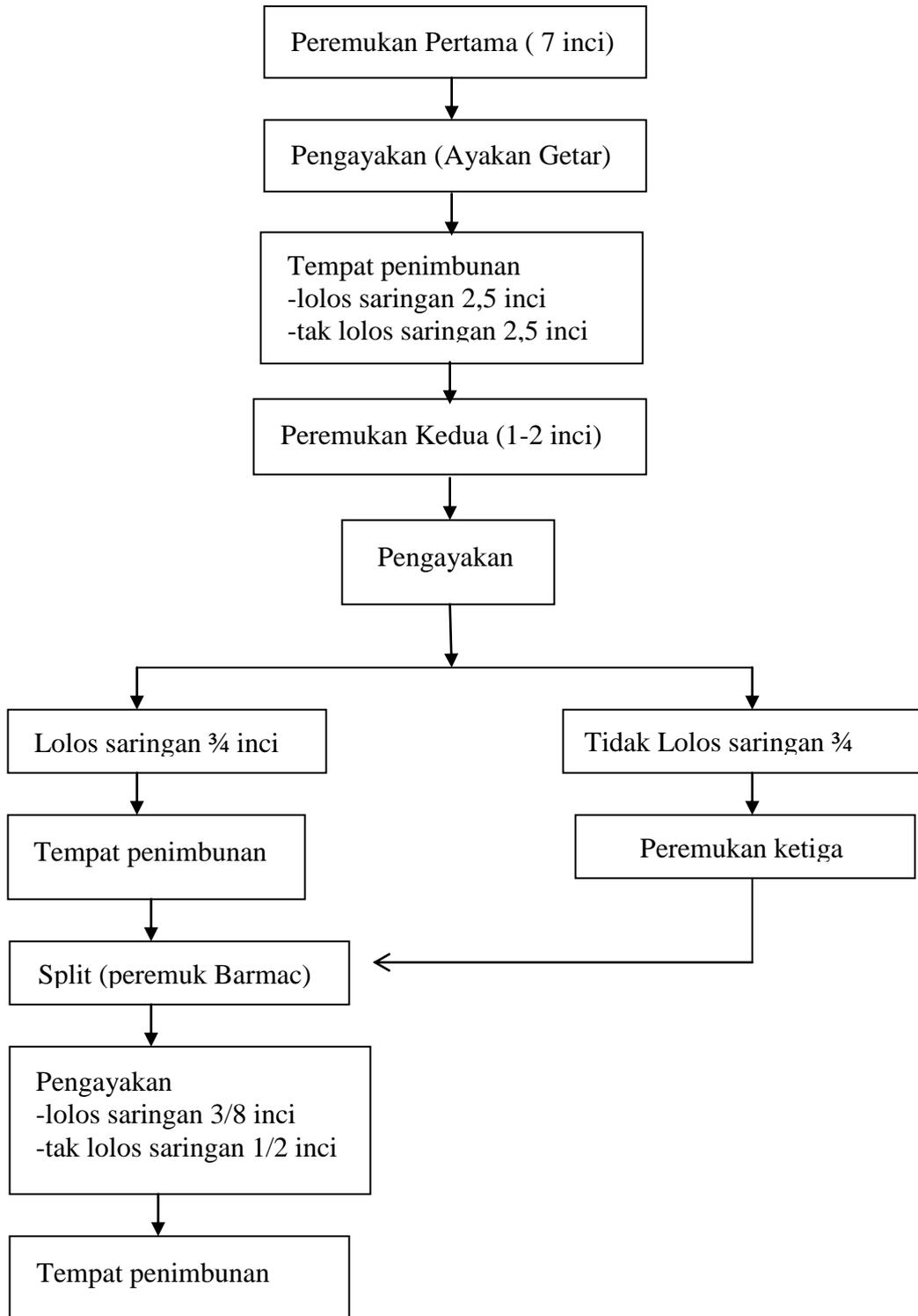
Tipe endapan ini telah tertutup oleh tanah/*soil*. Pekerjaan awal dilakukan dengan land clearing/pembersihan tanah penutup. Endapan agregat jenis ini biasanya sudah agak keras dan tercampur dengan lumpur/lempung dan zat-zat organic lain. Untuk mendapatkan agregat yang bersih dari lempung dan zat organic, system penambangan dilakukan dengan cara menggunakan pompa tekan/pompa semprot bertekanan tinggi dan dilakukan pencucian. Model penambangan seperti ini dilakukan di daerah desa Lebak Mekar, kab. Cirebon dan di lereng G. Muria Kab. Kudus.

c. *Produksi Agregat Dari Batu Pecah*

Agregat batu pecah diproduksi dari bongkahan-bongkahan batuan hasil peledakan (biasanya batuan andesit dan basalt), kemudian dipecah lagi dengan palu atau alat mekanis (*breaker/crusher*) untuk disesuaikan ukurannya dengan kebutuhan konsumen. Secara umum, kegiatan pembuatan agregat batu pecah terdiri dari peremukan, pengayakan dan pengangkutan.

Hasil dari pengolahan ini berupa batu pecah dengan ukuran ≤ 10 mm, 10 – 20 mm, 20 – 30 mm, 30 – 50 mm, 50 – 75 mm.

PROSES PEMBUATAN AGREGAT BATU PECAH



2.4. PENIMBUNAN DAN PENYIMPANAN AGREGAT

- Penimbunan agregat di lapangan, harus diberi alas agar tidak bercampur dengan tanah dan Lumpur. Di atasnya ditutup dengan terpal agar terhindar dari hujan, karena agregat yang terlalu basah akan sulit untuk menentukan kadar air semennya pada waktu membuat adukan.
- Penimbunan pasir harus lebih tinggi dari permukaan tanah agar terhindar dari aliran air ketika hujan.
- Penumpukan pasir hendaknya sedekat mungkin dengan lokasi pekerjaan agar lebih mudah mengambilnya.

2.5. SIFAT – SIFAT FISIK DAN PENGUJIAN AGREGAT

Sifat – sifat agregat yang mempengaruhi mutu beton terdiri dari :

a. *Bentuk butiran dan keadaan permukaan*

Butiran agregat biasanya berbentuk bulat (agregat yg berasal dari sungai/pantai), tidak beraturan, bersudut tajam dengan permukaan kasar, ada yg berbentuk pipih dan lonjong.

Bentuk butiran berpengaruh pada :

- * luas permukaan agregat
- * Jumlah air pengaduk pada beton
- * Kestabilan/ketahanan (durabilitas) pada beton
- * Kelecekan (workability)
- * Kekuatan beton

Keadaan permukaan agregat berpengaruh pada daya ikat antara agregat dengan semen.

Permukaan kasar → ikatannya kuat

Permukaan licin → ikatannya lemah

b. *Kekuatan Agregat*

- Kekuatan Agregat adalah Kemampuan agregat untuk menahan beban dari luar.

- Kemampuan agregat meliputi : kekuatan tarik, tekan, lentur, geser dan elastisitas. Yang paling dominant dan diperhatikan adalah kekuatan tekan dan elastisitas.
- Kekuatan dan elastisitas agregat dipengaruhi oleh :
 - jenis batumannya
 - susunan mineral agregat
 - struktur/kristal butiran
 - porositas
 - ikatan antar butiran
- Pengujian kekuatan agregat meliputi :
 - Pengujian kuat tekan
 - Pengujian kekerasan agregat dengan goresan batang tembaga atau bejana Rudeloff
 - Pengujian keausan dengan mesin aus LOS ANGELES.

c. Berat jenis agregat

Berat jenis adalah perbandingan berat suatu benda dengan berat air murni pada volume yang sama pada suhu tertentu

Berat jenis agregat tergantung oleh : jenis batuan, susunan mineral agregat, struktur butiran dan porositas batuan.

Berat jenis agregat ada 3, yaitu : (1) berat jenis SSD, yaitu berat jenis agregat dalam kondisi jenuh kering permukaan, (2) Berat jenis semu, berat jenis agregat yang memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan volume agregat dalam keadaan kering, (3) Berat Jenis Bulk, berat jenis agregat yang memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat.

d. Bobot Isi (Bulk Density)

- Bobot isi adalah perbandingan antara berat suatu benda dengan volume benda tersebut.
- Bobot isi ada dua : bobot isi padat dan gembur.

- Bobot isi agregat pada beton berguna untuk klasifikasi perhitungan perencanaan campuran beton.

e. Porositas, kadar air dan daya serap air

- Adalah jumlah kadar pori-pori yang ada pada agregat, baik pori-pori yang dapat tembus air maupun tidak yang dinyatakan dengan % terhadap volume agregat.
- Porositas agregat erat hubungannya dengan : BJ agregat, daya serap air, sifat kedap air dan modulus elastisitas.
- Kadar air agregat adalah banyaknya air yang terkandung dalam agregat. Ada 4 jenis kadar air dalam agregat, yaitu : (1) kadar air kering tungku, yaitu agregat yang benar-benar kering tanpa air. (2) Kadar air kering udara, yaitu kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi mengandung sedikit air dalam porinya sehingga masih dapat menyerap air. (3) jenuh Kering Permukaan (*saturated surface-dry = SSD*), dimana agregat yang pada permukaannya tidak terdapat air tetapi di dalam butirannya sudah jenuh air. Pada kondisi ini air yang terdapat dalam agregat tidak menambah atau mengurangi jumlah air yang terdapat dalam adukan beton. (4) Kondisi basah, yaitu kondisi dimana di dalam butiran maupun permukaan agregat banyak mengandung air sehingga akan menyebabkan penambahan jumlah air pada adukan beton.



Kering tungku Kering udara SSD Basah

- Daya serap air adalah kemampuan agregat dalam menyerap air sampai dalam keadaan jenuh. Daya serap air agregat merupakan jumlah air yang terdapat dalam agregat dihitung dari keadaan kering oven sampai dengan keadaan jenuh dan dinyatakan dalam %.
- Daya serap air berhubungan dengan pengontrolan kualitas beton dan jumlah air yang dibutuhkan pada beton.

f. Sifat Kekal Agregat

- Adalah : kemampuan agregat untuk menahan terjadinya perubahan volumenya yang berlebihan akibat adanya perubahan kondisi fisik.
- Penyebab perubahan fisik : adanya perubahan cuaca dari panas-dingin, beku-cair, basah-kering.
- Akibat fisik yang ditimbulkan pada beton adalah : kerutan-kerutan stempai, retak-retak pada permukaan beton, pecah pada beton yang dapat membahayakan konstruksi secara keseluruhan.
- Sifat tidak kekal pada agregat ditimbulkan oleh : adanya sifat porous pada agregat dan adanya lempung/tanah liat.

g. Reaksi Alkali Agregat

- Adalah : reaksi antara alkali (Na_2O , K_2O) yang terdapat pada semen dengan silika aktif yang terkandung dalam agregat.
- Reaksi alkali hidroksida dengan silika aktif pada agregat akan membentuk alkali-silika gelembung di permukaan agregat. Gelembung bersifat mengikat air yg selanjutnya volume gelembung akan mengembang, pada beton akan timbul retak-retak.
- Pada konstruksi beton yang selalu berhubungan dengan air (basah) perlu diperhatikan reaksi alkali agregat yang aktif.

h. Sifat Termal

- Meliputi : Koefisien pengembangan linier, panas jenis dan daya hantar panas.
- Pengembangan linier pada agregat sebagai pertimbangan pada konstruksi beton dengan kondisi suhu yang berubah-ubah. Sebaiknya koef. Pengembangan linier agregat sama dengan semen.
- Panas jenis dan daya hantar panas sebagai pertimbangan pada beton untuk isolasi panas.

i. Gradasi Agregat

- Pada beton, gradasi agregat berhubungan dengan kelecakan beton segar, ekonomis dan karakteristik kekuatan beton.

2.6. SYARAT AGREGAT MENURUT SII, ASTM DAN SK SNI

2.6.1. Syarat Mutu Agregat Untuk Beton

Syarat Mutu menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F

a. Agregat Halus (pasir):

- 1) Butirannya tajam, kuat dan keras
- 2) Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- 3) Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
 - a) Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 %
 - b) Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10 %
- 4) Agregat halus tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5 %. Apabila lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci.
- 5) Tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
- 6) Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5-3,8. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3 atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - a) sisa di atas ayakan 4,8 mm, mak 2 % dari berat
 - b) sisa di atas ayakan 1,2 mm, mak 10 % dari berat
 - c) sisa di atas ayakan 0,30 mm, mak 15 % dari berat
- 7) Tidak boleh mengandung garam

b. Agregat Kasar (Kerikil) :

- 1) Butirannya tajam, kuat dan keras
- 2) Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- 3) Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
 - a. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 %
 - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10 %

- 4) Agregat kasar tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 1 %. Apabila lebih dari 1 % maka kerikil harus dicuci.
- 5) Tidak boleh mengandung zat organik dan bahan alkali yang dapat merusak beton.
- 6) Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 6 – 7,10 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - a. sisa di atas ayakan 38 mm, harus 0 % dari berat
 - b. sisa di atas ayakan 4,8 mm, 90 % - 98 % dari berat
 - c. Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, mak 60 % dan min 10 % dari berat.
- 7) Tidak boleh mengandung garam.

Syarat Mutu Agregat Menurut SII 0052-80

a. Agregat Halus

- 1) Susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 2,50 – 3,80.
- 2) Kadar Lumpur atau bagian butir lebih kecil dari 70 mikron, mak 5 %
- 3) Kadar zat organic ditentukan dengan larutan Na-Sulfat 3 %, jika dibandingkan warna standar tidak lebih tua daripada warna standar.
- 4) Kekerasan butir jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa Bangka memberikan angka hasil bagi tidak lebih dari 2,20.
- 5) Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh Garam-Sulfat :
 - a. Jika dipakai Natrium Sulfat , bagian yg hancur mak 10 %.
 - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur mak 15 %.

b. Agregat Kasar

- 1) Susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 6,0 – 7,10.
- 2) Kadar Lumpur atau bagian butir lebih kecil dari 70 mikron, mak 1 %.
- 3) Kadar bagian yang lemah diuji dengan goresan batang tembaga, mak 5 %.
- 4) Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh Garam-Sulfat :

- a. Jika dipakai Natrium Sulfat , bagian yg hancur mak 12 %.
 - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur mak 18 %.
- 5) Tidak bersifat reaktif alkali, jika di dalam beton dengan agregat ini menggunakan semen yang kadar alkali sebagai Na₂O lebih besar dari 0,6 %.
 - 6) Tidak boleh mengandung butiran panjang dan pipih lebih dari 20 % berat.
 - 7) Kekerasan butir ditentukan dengan bejana Rudellof dan dengan bejana Los Angeles adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1. Persyaratan Kekerasan Agregat Untuk Beton

Kelas dan Mutu Beton	Kekerasan dg bejana Rudellof, bg. Hancur menembus ayakan 2 mm, mak , %		Kekerasan dg bejana geser Los Angeles, bag hancur menembus ayakan 1,7 mm, mak, %
	Fraksi Butir 19-30 mm	Fraksi Butir 9,5-19 mm	
Beton kelas I	22 - 30	24 - 32	40 - 50
Beton kelas II	14 - 22	16 - 24	27 - 40
Beton kelas III/beton pratekan	kurang dari 14	kurang dari 16	kurang dari 27

Syarat Mutu Agregat Menurut ASTM C33-86

a. Agregat Halus

- 1) Kadar Lumpur atau bagaian butir lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no 200), dalam % berat, mak :
 - Untuk beton yg mengalami abrasi : 3,0
 - Untuk jenis beton lainnya : 5,0
- 2) Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah direpihkan, mak 3,0 %.
- 3) Kandungan arang dan lignit :
 - Bila tampak, permukaan beton dipandang penting kandungan mak 0,5 %.
 - Untuk beton jenis lainnya 1,0 %.
- 4) Agregat halus bebas dari pengotoran zat organic yang merugikan beton. Bila diuji dengan larutan Natrium Sulfat dan dibandingkan dengan warna

standar, tidak lebih tua dari warna standar. Jika warna lebih tua maka agregat halus itu harus ditolak, kecuali apabila :

- a. Warna lebih tua timbul oleh adanya sedikit arang lignit atau yg sejenisnya.
 - b. Diuji dengan cara melakukan percobaan perbandingan kuat tekan mortar yg memakai agregat tersebut terhadap kuat tekan mortar yg memakai pasir standar silika, menunjukkan nilai kuat tekan mortar tidak kurang dari 95 % kuat tekan mortar memakai pasir standar. Uji kuat tekan mortar harus dilakukan sesuai dengan cara ASTM C87.
- 5) Agregat halus yg akan dipergunakan untuk membuat beton yg akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yg berhubungan dg tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yg bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yg jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yg berlebihan di dalam mortar atau beton. Agregat yang reaktif terhadap alkali boleh dipakai untuk membuat beton dengan semen yg kadar alkalinya dihitung sebagai setara Natrium Oksida ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$) tidak lebih dari 0,60 % atau dengan penambahan yang dapat mencegah terjadinya pemuaihan yang membahayakan akibat reaksi alkali agregat tersebut.
- 6) Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh Garam-Sulfat :
- a. Jika dipakai Natrium Sulfat , bagian yg hancur mak 10 %.
 - b. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur mak 15 %.
- 7) Susunan besar butir (gradasi). Agregat halus harus mempunyai susunan besar butir dalam batas-batas sebagai berikut :

Tabel 2.2. Syarat Gradasi Agregat Halus Menurut ASTM

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Prosentase Lolos Kumulatif (%)
9,5	100
4,75	95-100
2,36	80-100
1,18	50-85
0,60	25-60
0,30	10-30
0,15	2-10

agregat halus tidak boleh lebih mengandung bagian yang lolos lebih dari 45 % pada suatu ukuran ayakan dan tertahan pada ayakan berikutnya. Modulus kehalusannya tidak kurang dari 2,3 dan tidak lebih dari 3,1.

b. Agregat Kasar

- 1) Agregat kasar yg akan dipergunakan untuk membuat beton yg akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yg berhubungan dg tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yg bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yg jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaiian yg berlebihan di dalam mortar atau beton. Agregat yang reaktif terhadap alkali boleh dipakai untuk membuat beton dengan semen yg kadar alkalinya dihitung sebagai setara Natrium Oksida ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$) tidak lebih dari 0,60 % atau dengan penambahan yang dapat mencegah terjadinya pemuaiian yang membahayakan akibat reaksi alkali agregat tersebut. Syarat yang lain untuk agregat kasar seperti pada SII.

2.6.2. Syarat Mutu Agregat Untuk Beton Aspal Menurut SNI 1737 – 1989 – F

No	Jenis Pengujian	Persyaratan		Satuan
		Min	Max	
1	Abrasi		40	%
2	Impact		30	%
3	Crushing		30	%
4	Berat Isi Padat			
5	Berat Jenis Bulk SSD Apparent	2.5 2.5 2.5		
6	Penyerapan		3	%
7	Sand Equivalent	50		%
8	Kelekatan Terhadap aspal	95		%
9	Kepipihan		25	%
10	Soundness Na ₂ SO ₄		12	%
11	Atterberg limit	Non	Plastis	
12	Gumpalan Lempung		0.25	%

PENGUJIAN SIFAT-SIFAT AGREGAT

Cara-cara memeriksa sifat-sifat pasir :

- Untuk mengetahui kandungan tanah liat/Lumpur pada pasir dilakukan dengan cara meremas atau menggenggam pasir dengan tangan. Bila pasir masih terlihat bergumpal dan kotoran tertempel di tangan, berarti pasir banyak mengandung Lumpur.
- Kandungan Lumpur dapat pula dilakukan dengan mengisi gelas dengan air, kemudian masukkan sedikit pasir ke dalam gelas. Setelah diaduk dan didiamkan beberapa saat maka bila pasir mengandung Lumpur, Lumpur akan terlihat mengendap di atasnya.
- Pemeriksaan kandungan zat organik dilakukan dengan cara memasukkan pasir ke dalam larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 3 % . Setelah diaduk dan didiamkan selama 24 jam, warnanya dibandingkan dengan warna pembanding.
- Sifat kekal diuji dengan larutan jenuh garam Natrium Sulfat atau Magnesium Sulfat.

Untuk memeriksa agregat kasar ,kerikil alam dan batu pecah dilakukan sama seperti pengujian pada pasir ditambah dengan pemeriksaan kekerasan dan ketahanan aus.

- a) Pemeriksaan Kekerasan kerikil dilakukan dengan bejana Rudellof, bagian yang hancur (tembus ayakan 2 mm) tidak boleh lebih dari 32 %
- b) Pemeriksaan ketahanan aus dilakukan dengan mesin uji aus “ LOS ANGELES”, bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 50 %.
- c) Pemeriksaan Berat Jenis dan Daya Serap Air Agregat kasar.

Tujuan dari pemeriksaan BJ ini adalah untuk menentukan jumlah agregat (volume padat) dalam suatu campuran beton. Pemeriksaan Berat jenis agregat dilakukan dengan cara :

- ambil 5 kg agregat kasar, kemudian cuci agregat untuk menghilangkan lumpur.
- Contoh agregat kemudian dikeringkan/dioven pada suhu 100°C – 110°C sampai mencapai berat tetap, kemudian dinginkan pada suhu kamar selama 1 – 3 jam dan ditimbang (A).
- Setelah dingin, contoh tadi direndam dalam air selama 24 jam. Selanjutnya contoh dikeluarkan dari dalam air rendaman kemudian dilap dengan kain sampai semua air yang melekat pada permukaan agregat tidak tampak lagi, usahakan agar tidak terjadi penguapan melalui pori-pori agregat (dalam kondisi SSD)
- Contoh uji ditimbang dalam kondisi jenuh permukaan kering (SSD = saturated surface dry condition) = B.
- Kemudian contoh uji ditimbang dalam air, sambil diusahakan tidak ada udara yang tersekap di dalamnya (C).
- Setelah ditimbang dalam air, contoh dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C – 110°C sampai beratnya tetap, kemudian timbang.
- Berat jenis Bulk = $\frac{A}{B - C}$
- Berat jenis SSD = $\frac{B}{B - C}$

- Berat Jenis Semu = $\frac{A}{A-C}$
- Daya Serap Air = $\frac{B-A}{A} \times 100$, dengan :
 A = Berat contoh kering oven
 B = Berat contoh dalam kondisi SSD
 C = berat dalam air.



Gb. 2.1. Pengujian BJ Pasir



Gb. 2.2. Pengujian Daya Serap Air Agregat



Gb. 2.3. Pengujian BI Kerikil



Gb. 2.4. Pengujian gradasi Agregat



Gb. 2.5. Pengujian Kekerasan Agregat



Gb. 2.6. Pengujian Organic Impurtis Pasir

BAHAN-BAHAN YANG MERUGIKAN AGREGAT

- Bahan-bahan yang merugikan agregat adalah bahan-bahan yang mengganggu proses pengikatan dan pengerasan beton, mengurangi kekuatan serta berat isi beton, menyebabkan terkelupasnya beton dan mempengaruhi ketahanan beton terhadap karat.

- Bahan-bahan tersebut adalah :
 - Bahan-bahan padat yang menetap, seperti : lempung, Lumpur dan abu. Bahan-bahan ini apabila terdapat dalam agregat dalam jumlah banyak, maka akan ada kecenderungan penggunaan air yang banyak dalam campuran beton, sehingga mutu beton menjadi jelek. Selain itu, bahan-bahan ini juga akan menghalangi pengikatan antara semen dan agregat.
 - Bahan organik dan humus, seperti : daun-daun yg membusuk, humus, asam untuk menyamak, dll. Bahan-bahan ini akan mengganggu proses hidrasi pada beton.
 - Garam, seperti : Chlorida, sulfat, Karbonat dan Fosfat. Bahan-bahan ini dapat bereaksi secara kimiawi sehingga memperlambat atau merubah proses pengikatan semen, menurunkan kekuatan bahkan menghancurkan beton. Apabila agregat mengandung Chlorida lebih dari 2 % maka Chlorida tersebut akan menyerap air dalam udara sehingga meninggalkan noda putih pada permukaan beton. Selain itu, jenis garam ini juga akan menyebabkan karat pada tulangan sehingga retak-retak pada beton dan menyebabkan terurainya beton yang bersangkutan. Pada kondisi yang demikian, beton tidak dapat diperbaiki lagi, karena serangan karat oleh Chlorida berlangsung terus menerus tidak dapat dicegah.
 - Agregat yang reaktif terhadap alkali, yaitu agregat yg mengandung silika reaktif, biasanya terdapat pada batuan cherts, batu kapur dan beberapa jenis batuan beku. Jenis agregat ini dapat bereaksi dengan alkali yang ada dalam semen dan membentuk gel-silika, sehingga agregat mengembang/membengkak dan menyebabkan timbulnya retak serta penguraian beton.

2.7. GRADASI (SUSUNAN BUTIRAN) AGREGAT KASAR DAN HALUS

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat, baik agregat kasar maupun halus. Agregat yang mempunyai ukuran seragam (sama) akan menghasilkan volume pori antar butiran menjadi besar. Sebaliknya agregat yg mempunyai ukuran bervariasi mempunyai volume pori kecil, dimana butiran kecil

mengisi pori diantara butiran besar sehingga pori-porinya menjadi sedikit (kemampatannya tinggi). Pada beton, dibutuhkan agregat yg mempunyai kemampatan tinggi sehingga volume porinya kecil, maka dibutuhkan bahan ikat sedikit (bahan ikat mengisi pori diantara butiran agregat).

Gradasi agregat akan mempengaruhi sifat-sifat beton, baik beton segar maupun beton kaku, yaitu :

- a. Pada beton segar, gradasi agregat akan mempengaruhi kelecakan (*workability*), jumlah air pencampur, sifat kohesif, jumlah semen yang diperlukan, *segregasi* dan *bleeding*.
- b. Pada beton kaku (beton keras), akan mempengaruhi kekuatan beton dan keawetannya (*durabilitas*).

Untuk mengetahui gradasi agregat dilakukan dengan cara menggunakan hasil analisis pemeriksaan dengan menggunakan satu set ayakan. Ayakan dengan ukuran bukaan paling besar diletakkan paling atas dan yang paling halus diletakkan paling bawah sebelum pan. Ukuran bukaan ayakan/saringan disajikan pada Tabel 2.4. sebagai berikut :

Tabel 2.4 Ukuran Bukaan dan Ukuran Saringan dari Satu Set Ayakan

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Ukuran Saringan	Bukaan (mm)
4 inci	100	3/8 inci	9,5
3 ¹ / ₂ inci	90	No.4	4,75
3 inci	75	No.8	2,36
2 ¹ / ₂ inci	63	No.16	1,18
2 inci	50	No.30	0,6
1 ¹ / ₂ inci	37,5	No.50	0,3
1 inci	25	No.100	0,15
³ / ₄ inci	19	No. 200	0,075
1/2 inci	12,5		

Ayakan standar yang biasa digunakan untuk agregat beton adalah satandar ASTM, British Standar (BS) dan ISO. Perbandingan ukuran ayakan dari ketiga standar tersebut adalah :

Tabel 2.5. Ukuran lubang Ayakan Standar ASTM, BS dan ISO

ASTM –E 11-70 (mm)	BS 410-1969 (mm)	ISO (mm)
152	150	128
76	75	64
38	37,5	32
19	20	16
9,5	10	8
4,75	5	4
2,36	2,36	2
1,18	1,18	1
0,60	0,60	0,50
0,30	0,30	0,25
0,15	0,15	0,125
0,075	0,075	0,062

Modulus Kehalusan Butir (Fineness Modulus = FM)

Modulus kehalusan butir (angka kehalusan) adalah jumlah persen tertinggal kumulatif pada tiap-tiap ayakan dari suatu seri ayakan yang ukuran lubangnya berbanding dua kali lipat, dimulai dari ayakan berukuran lubang 0,15 mm, dibagi 100.

Makin besar nilai Modulus Halus Butir (MHB) suatu agregat berarti semakin besar butiran agregatnya (semakin kasar). MHB pasir berkisar antara 1,50 – 3,8, kerikil sebesar 5,0 – 8,0. Sedangkan MHB dari campuran agregat halus dan kasar sebesar 5,0 – 6,0.

Contoh perhitungan MHB agregat halus dan Kasar dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan 2.6. Dari hasil analisa ayak agregat kasar dan halus diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 2.6. Contoh Data Hasil Analisa Ayak

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	
	Agregat Kasar	Agregat Halus
38	0	0
19	2279	0
9,6	2614	0
4,8	51	3,9
2,4	56	11,3
1,2	0	65,5
0,6	0	205,7
0,3	0	158
0,15	0	48,6
pan	0	7
Jumlah	5000	500

Perhitungan Modulus Halus Butir (MHB) agregat halus disajikan pada Tabel 2.8 sebagai berikut :

Tabel 2.7. Perhitungan MHB Pasir

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal		
	Gram	Persen (%)	Persen Tertinggal Kumulatif
38	0	0	0
19	0	0	0
9,6	0	0	0
4,8	3,9	0,78	0,78
2,4	11,3	2,26	3,04
1,2	65,5	13,1	16,14
0,6	205,7	41,14	57,28
0,3	158	31,6	88,88
0,15	48,6	9,72	98,6
pan	7	1,4	-
Jumlah	500	100	264,72

Jadi Modulus Halus Butir (MHB) pasir = $\frac{264,72}{100} = 2,6472$

Tabel 2.8. Perhitungan MHB Kerikil

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal		
	Gram	Persen (%)	Persen Tertinggal Komulatif
38	0	0	0
19	2279	45,58	45,58
9,6	2614	52,28	97,86
4,8	51	1,02	98,88
2,4	56	1,12	100
1,2	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
pan	0	0	-
Jumlah	5000	100	742,32

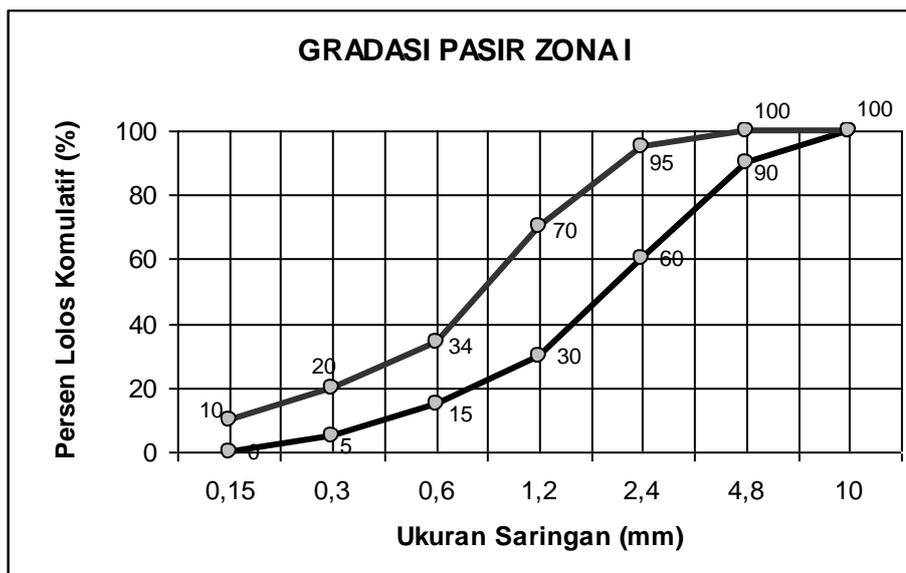
Jadi Modulus Halus Butir (MHB) kerikil = $\frac{742,32}{100} = 7,4232$

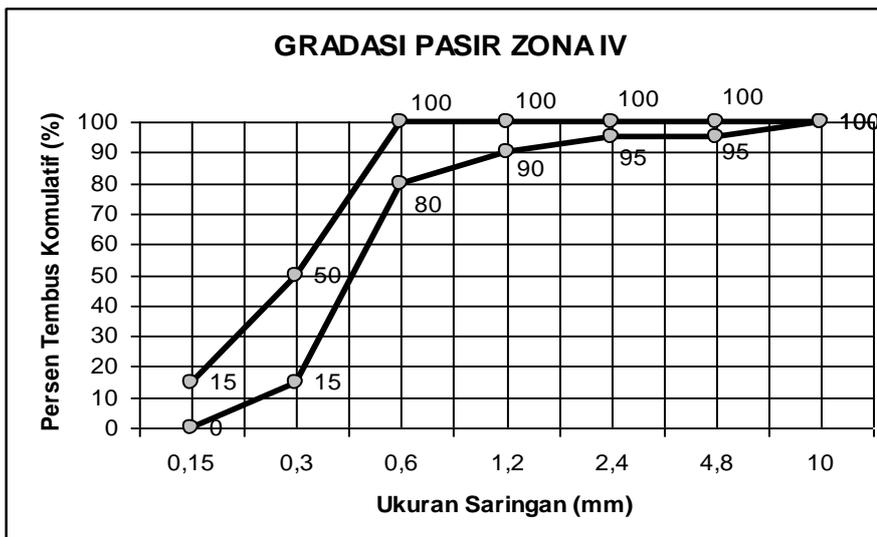
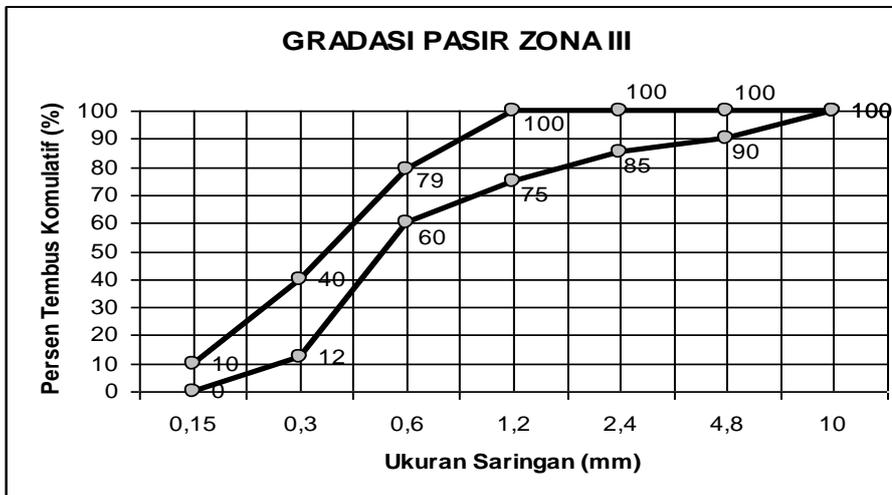
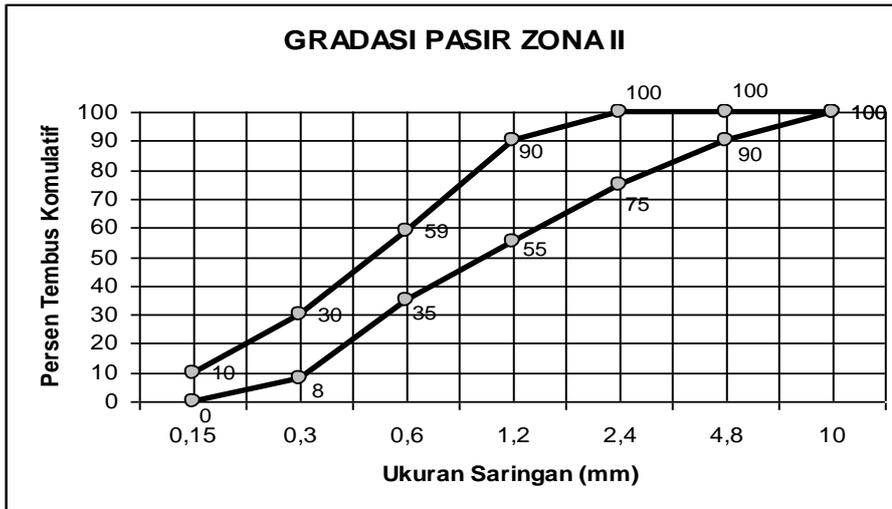
Syarat Gradasi Agregat Halus

Menurut British Standard (BS) memberikan syarat gradasi untuk pasir. Kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus (zone 4), agak halus (zone 3), agak kasar (zone 2) dan kasar (zone 1) seperti pada Tabel 2.9.

TABEL 2.9. GRADASI AGREGAT HALUS MENURUT BS

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang Lewat Ayakan			
	Zone I	Zone II	Zone III	Zone 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





Syarat Gradasi Agregat Kasar

Syarat gradasi agregat kasar (kerikil) menurut British Standar (BS) disajikan pada Tabel 2.10 sebagai berikut :

TABEL 2.10. GRADASI KERIKIL MENURUT BS

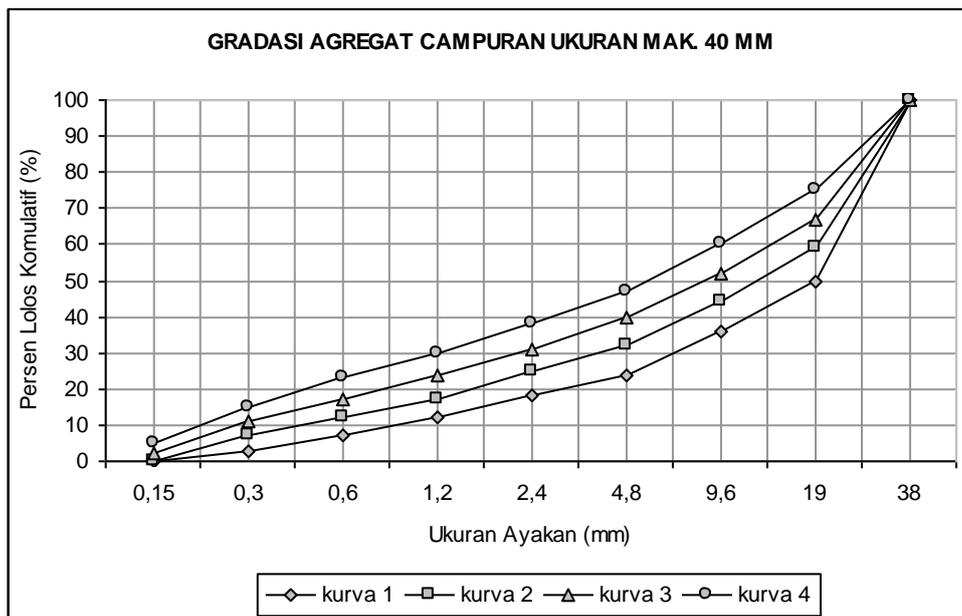
Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan		
	Besarnya Butir Maksimum		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 -100	100	100
20	30 – 70	95 -100	100
12,5	-	-	90 - 100
10	10 – 35	25 - 55	40 - 85
4,8	0 – 5	0 -10	0 - 10

Gradasi Agregat Campuran

Untuk campuran beton dengan besar butir maksimum agregat sebesar 40 mm, 30 mm, 20 mm dan 10 mm, maka gradasi agregat (campuran pasir dan kerikil) harus berada di dalam batas-batas seperti yang tercantum dalam Tabel 2.11a, 2.11b, 2.11c dan 2.11d.

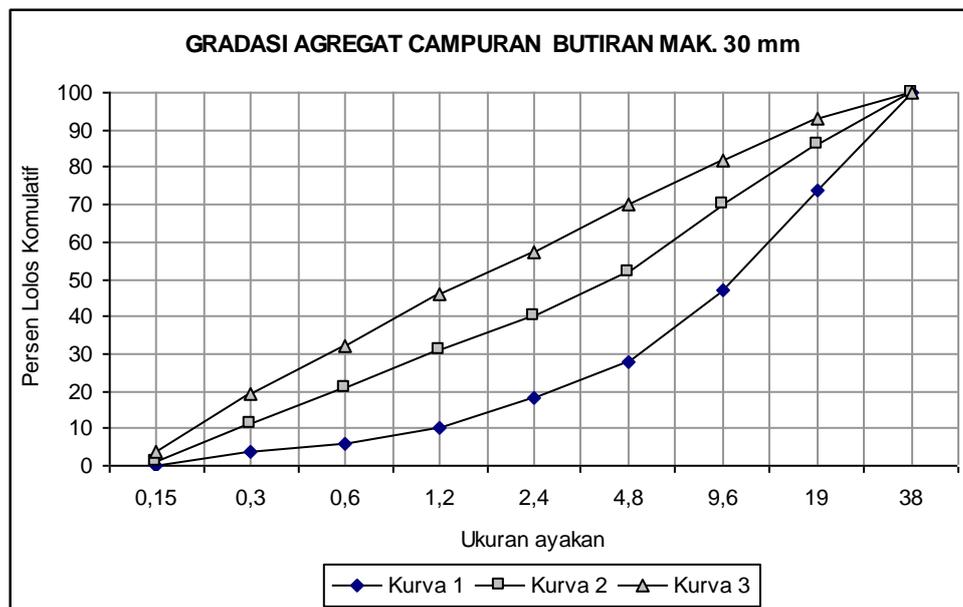
TABEL 2.11a. PERSEN BUTIRAN YANG LEWAT AYAKAN (%) UNTUK AGREGAT DG DIAMTER MAK 40 MM

Lubang Ayakan (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
38	100	100	100	100
19	50	59	67	75
9,6	36	44	52	60
4,8	24	32	40	47
2,4	18	25	31	38
1,2	12	17	24	30
0,6	7	12	17	23
0,3	3	7	11	15
0,15	0	0	2	5



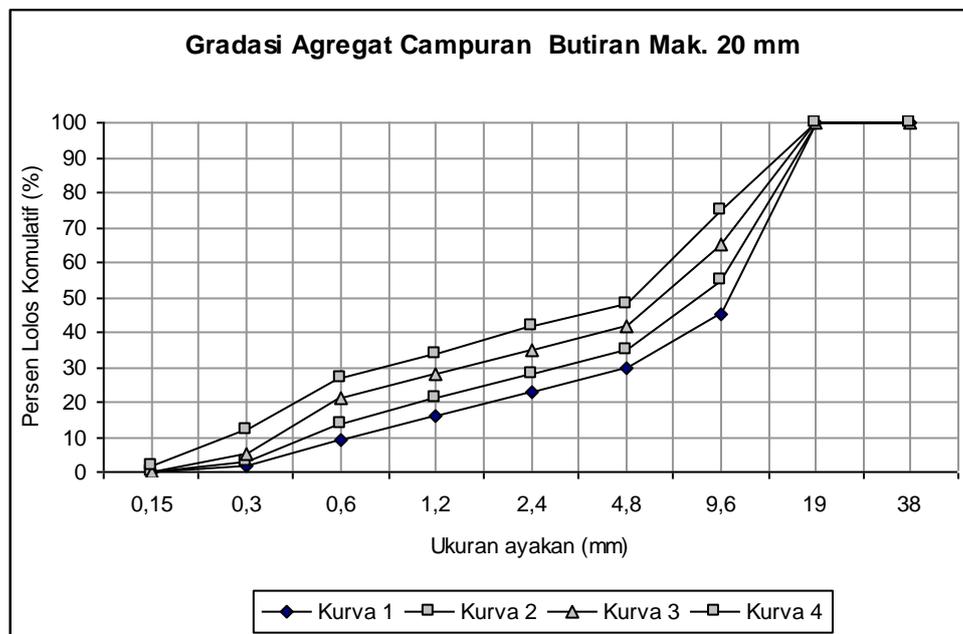
TABEL 2.11b. PERSEN BUTIRAN YANG LEWAT AYAKAN (%) UNTUK AGREGAT DG DIAMTER MAK 30 MM

Lubang Ayakan (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3
38	100	100	100
19	74	86	93
9,6	47	70	82
4,8	28	52	70
2,4	18	40	57
1,2	10	30	46
0,6	6	21	32
0,3	4	11	19
0,15	0	1	4



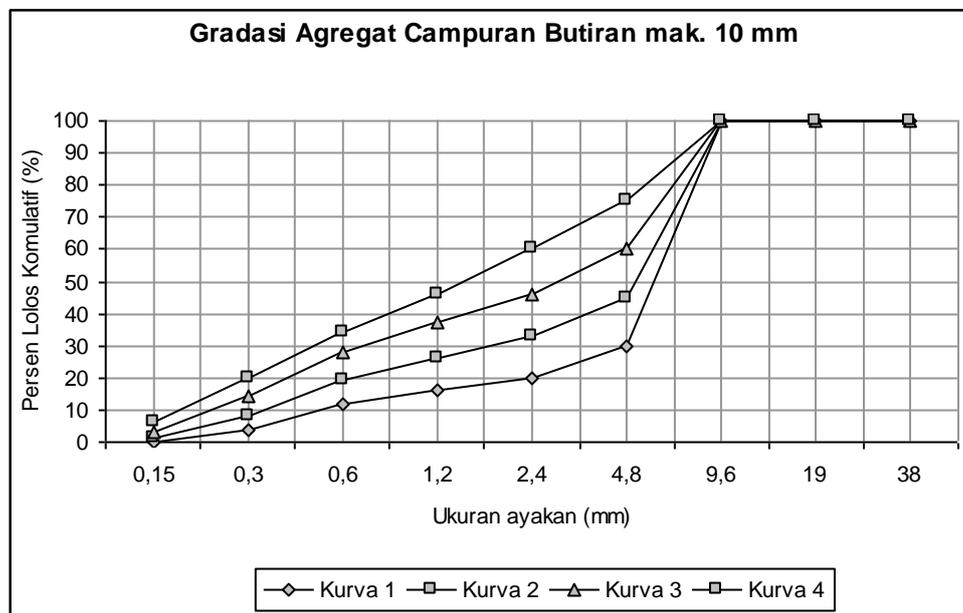
TABEL 2.11c. PERSEN BUTIRAN YANG LEWAT AYAKAN (%) UNTUK AGREGAT DG DIAMTER MAK 20 MM

Lubang Ayakan (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
19	100	100	100	100
9,6	45	55	65	75
4,8	30	35	42	48
2,4	23	28	35	42
1,2	16	21	28	34
0,6	9	14	21	27
0,3	2	3	5	12
0,15	0	0	0	2



TABEL 2.11d. PERSEN BUTIRAN YANG LEWAT AYAKAN (%) UNTUK AGREGAT DG DIAMTER MAK 10 MM

Lubang Ayakan (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
9,6	100	100	100	100
4,8	30	45	60	75
2,4	20	33	46	60
1,2	16	26	37	46
0,6	12	19	28	34
0,3	4	8	14	20
0,15	0	1	3	6



2.8. MENGGABUNGGKAN AGREGAT

Susunan butiran agregat di pasaran kadang-kadang tidak memenuhi persyaratan. Oleh karena itu di dalam pembuatan adukan beton maka diperlukan pencampuran agregat agar gradasinya sesuai standard akan menghasilkan beton yang mempunyai kuat tekan baik.

Ada beberapa kemungkinan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki gradasi agregat, yaitu :

- Menambah fraksi (bagian) butiran agregat yang kurang

- b. Mengurangi jumlah butiran-butiran yang terlalu banyak
- c. Menggabungkan dua atau lebih jenis agregat agar diperoleh gradasi yang memenuhi syarat.

A. Mencampur/menggabungkan Pasir

Gradasi pasir jauh lebih penting daripada gradasi kerikil. Hal ini disebabkan mortar (campuran semen, pasir dan air) merupakan pelumas untuk adukan beton muda serta menentukan sifat pengerjaan dan kohesi dari campuran bersangkutan.

Hal-hal yang perlu diperhatikan mengenai gradasi pasir adalah :

- Setiap jenis pasir yang lengkung gradasinya jatuh seluruhnya dalam batas-batas gradasi dari salah satu daerah (zona) dianggap cocok untuk beton walaupun tidak ideal.
- Apabila gradasi pasir jatuh dalam batas-batas gradasi suatu daerah tertentu, diijinkan sebesar maksimum 5 % di atas setiap saringan yang bukan saringan 0,60 mm, tetapi tidak boleh lebih halus dari batas gradasi yang ditunjukkan oleh jenis pasir terhalus (zona 4) atau lebih kasar dari batas gradasi zona 1.
- Jenis pasir yang mempunyai gradasi yang memotong satu daerah kemudian pindah ke daerah lain atau melalui beberapa daerah dianggap tidak cocok untuk produksi beton, karena jenis pasir ini menghasilkan campuran beton yang kasar, dimana bahan-bahan berukuran diantara kasar dan halus jumlahnya berlebihan. Akibatnya timbul sifat saling mengunci antar butirannya.
- Jenis pasir dari zona 4 (sebagian besar butirnya lebih halus dari 0,6 mm) apabila dipergunakan untuk produksi beton akan menimbulkan permasalahan-permasalahan :
 - Pasir halus membutuhkan lebih banyak air daripada pasir kasar untuk sifat pengerjaan yang sama sehingga untuk menghasilkan kekuatan yang sama dibutuhkan lebih banyak semen.
 - Terjadi segregasi pada beton muda karena pasir zona 4 jika digabung dengan kerikil akan terjadi gradasi celah (gap grading).

- Apabila mencampur 2 jenis pasir, diusahakan agar menghasilkan pasir dari daerah (zone) 2.

Langkah-langkah menggabungkan/mencampur pasir :

Rumus yang digunakan untuk menggabungkan dua jenis pasir atau lebih

adalah :
$$Y = \frac{a}{100} \cdot Y_a + \frac{b}{100} \cdot Y_b + \frac{c}{100} \cdot Y_c + \dots$$

$a + b + c \dots = 100 \%$, dimana :

Y : ordinat dari kurva susunan gabungan pada salah satu lubang ayakan (ordinat standar)

Y_a : ordinat dari kurva susunan butir pasir jenis A pada salah satu lubang ayakan yang sama dengan lubang ayakan Y

Y_b : ordinat dari kurva susunan butir pasir jenis b pada salah satu lubang ayakan yang sama dengan lubang ayakan Y

Y_c : ordinat dari kurva susunan butir pasir jenis c pada salah satu lubang ayakan yang sama dengan lubang ayakan Y

a, b, c : Perbandingan berat antara pasir a, b dan c

Contoh Soal menggabungkan dua jenis pasir yang mempunyai gradasi jelek (tidak memenuhi standar)

Dari hasil analisa ayakan diperoleh data seperti pada Tabel 2.12 sebagai berikut :

Tabel 2.12. Data analisa ayak pasir A dan pasir B

Ukuran Ayakan (mm)	Pasir A persen tembus kumulatif	Pasir B persen tembus kumulatif
	YA	YB
9,6	100	100
4,8	80	100
2,4	72	99
1,2	43	95
0,6	20	88
0,3	6	49
0,15	2	9

Langkah perhitungan :

- Misalnya gradasi pasir campuran yang diinginkan adalah masuk gradasi pasir Zone 2 (gradasi pasir ideal).
- Usahakan lengkung gradasi pasir gabungan melewati kurva pasir zone 2 pada lubang ayakan 0,60 atau 0,30.
- Ambil pada lubang ayakan 0,60. Titik persentase lolos kumulatif yang disyaratkan pada lubang ayakan 0,60 pasir zone 2 adalah 35 % - 59 %. Misalnya dipilih nilai 55 %, sehingga ordinat $Y = 55$. Koordinat pasir A pada ayakan 0,6 adalah : 20 %, pasir B : 88 %.
- Masukkan ke dalam rumus menggabungkan pasir , sebagai berikut :

$$Y = \frac{a}{100} \cdot Y_a + \frac{(100 - a)}{100} \cdot Y_b$$
$$55 = \frac{a}{100} \cdot 20 + \frac{(100 - a)}{100} \cdot 88$$
$$5500 = 20a + 8800 - 88a$$
$$88a - 20a = 8800 - 5500$$
$$68a = 3300$$
$$a = 49\%$$
$$b = 100\% - 49\% = 51\%$$

Sehingga untuk membuat pasir campuran yang memenuhi standar zone 2 diperlukan pasir A sebanyak 49 % dan pasir B sebanyak 51 %.

- Selanjutnya masing-masing pasir dihitung harga Y nya sesuai dengan persentasenya. Untuk lebih jelas hitungan dimasukkan ke dalam Tabel 2.13.
- Gabungan II. Misalnya dipilih ayakan 0,30. Titik persentase lolos kumulatif yang disyaratkan pada lubang ayakan 0,30 pasir zone 2 adalah 8 % - 30 %. Misalnya dipilih nilai 27 %, sehingga ordinat $Y = 20$. Koordinat pasir A pada ayakan 0,3 adalah : 6 %, pasir B : 49 %.
- Masukkan ke dalam rumus menggabungkan pasir , sebagai berikut :

$$Y = \frac{a}{100} \cdot Y_a + \frac{(100 - a)}{100} \cdot Y_b$$

$$27 = \frac{a}{100} \cdot 6 + \frac{(100 - a)}{100} \cdot 49$$

$$2700 = 6a + 4900 - 49a$$

$$49a - 6a = 4900 - 2700$$

$$43a = 2200$$

$$a = 51\%$$

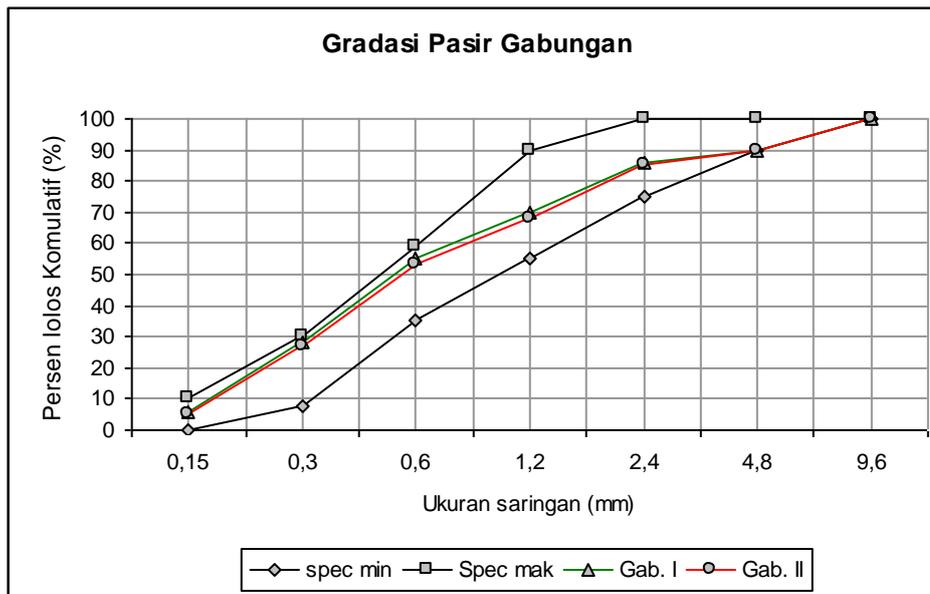
$$b = 100\% - 51\% = 49\%$$

Sehingga untuk membuat pasir campuran yang memenuhi standar zone 2 diperlukan pasir A sebanyak 51 % dan pasir B sebanyak 49 %.

- h. Selanjutnya masing-masing pasir dihitung harga Y nya sesuai dengan persentasenya. Untuk lebih jelas hitungan dimasukkan ke dalam Tabel 2.13.

TABEL 2.13. CONTOH PERHITUNGAN MENGGABUNGKAN DUA MACAM PASIR YANG GRADASINYA BERBEDA AGAR DIPEROLEH GRADASI PASIR YG BAIK

Ukuran Ayakan (mm)	Pasir A persen tembus kom.	Pasir B persen tembus kom.	GABUNGAN I			GABUNGAN II			Spesifikasi pasir Zone 2
			49 % YA + 51 % YB			51% YA + 49 % YB			
			49/100 x YA	51/100 x YB	Y Gab.	51/100 x YA	49/100 x YB	Y Gab.	
YA	YB								
9,6	100	100	49	51	100	51	49	100	100-100
4,8	80	100	39	51	90	41	49	90	90-100
2,4	72	99	35	50	86	37	49	85	75-100
1,2	43	95	21	48	70	22	47	68	55-90
0,6	20	88	10	45	55	10	43	53	35-59
0,3	6	49	3	25	28	3	24	27	8-30
0,15	2	9	1	5	6	1	4	5	0-10



B. Menggabungkan agregat kasar

Untuk menggabungkan agregat kasar dapat dilakukan seperti menggabungkan pasir, dengan gradasi standar yang dipakai adalah gradasi standar untuk agregat kasar.

C. Menggabungkan Agregat Kasar dan Agregat Halus

Untuk merancang campuran beton, proporsi optimum harus ditentukan sedemikian sehingga dengan jumlah air campuran minimum dapat diperoleh suatu campuran beton yang dapat dikerjakan dengan mudah tanpa memperlihatkan segregasi dan bleeding. Pemakaian pasir yang terlalu sedikit akan menyebabkan rongga-rongga diantara kerikil tidak dapat terisi dengan baik sehingga beton sukar dikerjakan, terjadi sarang-sarang kerikil dan beton yang dihasilkan keropos dan tidak awet. Sebaliknya beton dengan pasir yang terlalu banyak akan menghasilkan beton yang kohesif, membutuhkan jumlah air dan semen yang terlalu banyak sehingga penyusutan beton besar.

Oleh karena itu di dalam praktek diperlukan suatu campuran pasir dan kerikil dengan perbandingan tertentu agar gradasi campuran dapat masuk di dalam kurva standar seperti pada Tabel 2.11a s/d Tabel 2.11d. Untuk mendapatkan nilai perbandingan antara berat pasir dan kerikil yang tepat dilakukan dengan cara:

- a. Dengan menggunakan nilai Modulus Halus Butir (MHB) pasir dan kerikil

$$\text{Rumus yang digunakan adalah : } W = \frac{(K - C)}{(C - P)} \times 100\% \text{ , dimana}$$

W : Persentase berat agregat halus (pasir) terhadap agregat kasar

K : Modulus Halus Butir Kerikil

P : Modulus Halus Butir Pasir

C : Modulus Halus Butir agregat campuran

Langkah-langkah menggabungkan agregat campuran :

- 1) Hitung masing-masing MHB agregat yang akan dicampur (MHB pasir dan MHB kerikil)
- 2) Tetapkan nilai MHB campuran, yaitu antara 5,0 – 6,0
- 3) Hitung persentase agregat halus terhadap campuran dengan rumus

$$W = \frac{(K - C)}{(C - P)} \times 100\%$$

- 4) Hitung persentase untuk masing-masing ayakan
- 5) Plotkan hasil hitungan ke dalam kurva standar (Tabel 2.11a s/d Tabel 2.11d)
- 6) Jika tidak masuk standar, ulangi lagi langkah no 3

Contoh Soal :

Data hasil analisa ayak agregat adalah sebagai berikut :

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Persen Berat Tertinggal (%)		Persen Berat Tertinggal Kumulatif (%)		Persen Lolos Kumulatif (%)	
	Agregat Kasar	Agregat Halus	Agregat Kasar	Agregat Halus	Agregat Kasar	Agregat Halus	Agregat Kasar	Agregat Halus
38	0	0	0	0	0	0	100	100
19	2279	0	45.58	0	45.58	0	54.42	100
9.6	2614	0	52.28	0	97.86	0	2.14	100
4.8	51	3.9	1.02	0.78	98.88	0.78	1.12	99.22
2.4	56	11.3	1.12	2.26	100	3.04	0	96.96
1.2	0	65.5	0	13.1	100	16.14	0	83.86
0.6	0	205.7	0	41.14	100	57.28	0	42.72
0.3	0	158	0	31.6	100	88.88	0	11.12
0.15	0	48.6	0	9.72	100	98.6	0	1.4
pan	0	7	0	1.4	-	-		
Jumlah	5000	500	100	100	742.32	264.72		

- MHB pasir (P) = $\frac{264,72}{100} = 2,64$

$$\text{MHB Kerikil (K)} = \frac{742,32}{100} = 7,42$$

- MHB campuran (C) misalnya ditetapkan sebesar 6,0
- Jadi K = 7,42 ; P = 2,64; C = 6,0
- Persentase agregat halus (pasir) terhadap campuran ,

$$W = \frac{K - C}{C - P} \times 100\%$$

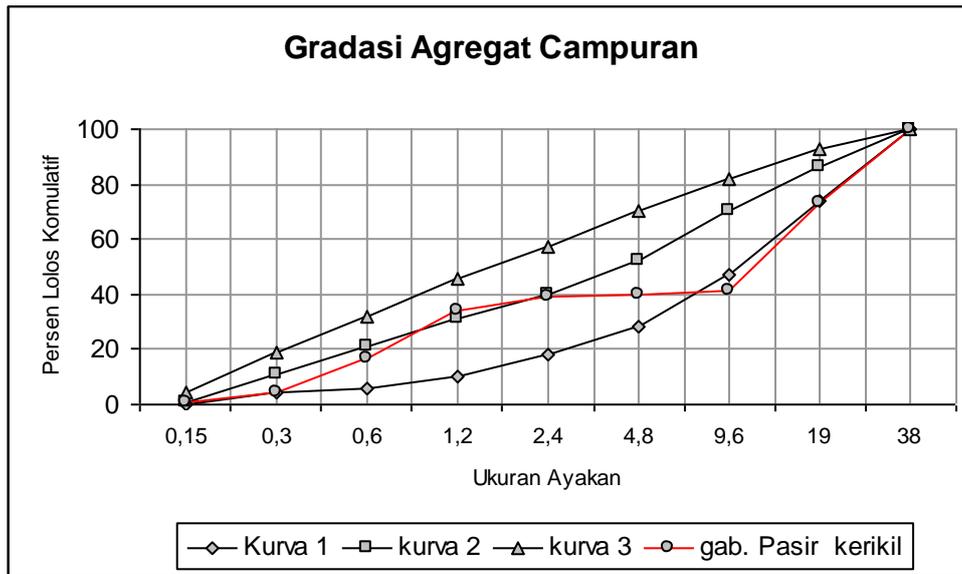
$$W = \frac{7,42 - 6}{6 - 2,64} \times 100\% = 42,26\%$$

dibulatkan menjadi 40%. Agregat kasar (kerikil) sebesar 60% atau 1 : 1,5

Selanjutnya hitungan ditabelkan

- Gambarkan gradasi hasil campuran (kolom g) ke dalam kurva standar, yaitu Gb. 2.1, 2.2, 2.3 atau 2.4. Apabila hasil gradasi yg diperoleh di atas tidak masuk di dalam kurva standar, maka proporsi antara pasir dan kerikil diulangi lagi, sampai diperoleh gradasi yang memenuhi standar.

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persen Lolos Kumulatif (%)						Spesifikasi Gradasi Agregat Campuran Ukuran Butiran Mak 40mm		
	Agregat Kasar (K)	Agregat Halus (P)	1 x P	1,5 x K	(d)+(e)	(f)/(P+K)			
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3
38	100	100	100	150	250	100	100	100	100
19	54.42	100	100	81.63	181.63	73	74	86	93
9.6	2.14	100	100	3.21	103.21	41	47	70	82
4.8	1.12	99.22	99.22	1.68	100.9	40	28	52	70
2.4	0	96.96	96.96	0	96.96	39	18	40	57
1.2	0	83.86	83.86	0	83.86	34	10	31	46
0.6	0	42.72	42.72	0	42.72	17	6	21	32
0.3	0	11.12	11.12	0	11.12	4	4	11	19
0.15	0	1.4	1.4	0	1.4	1	0	1	4

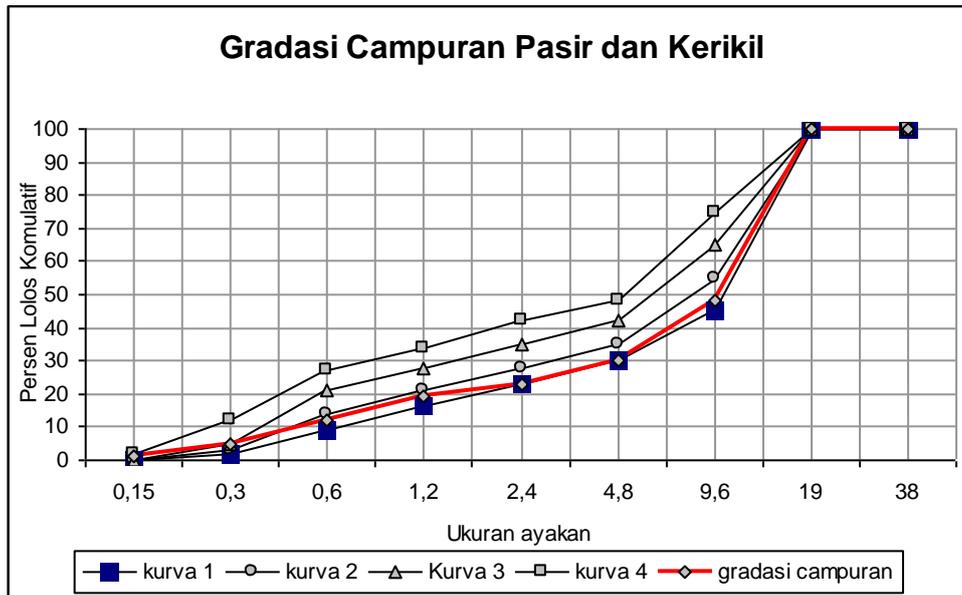


Perhitungan campuran antara pasir dan kerikil dapat juga dilakukan dengan cara coba-coba seperti pada contoh sebagai berikut :

- a) Tetapkan nilai banding antara berat pasir dan kerikil, missal Pasir : Kerikil = $P : K = 1 : 3$.
- b) Buat Tabel Seperti Tabel 1.7, dengan :
 - Kolom 1 : Lubang ayakan (mm)
 - Kolom 2 : Berat pasir yang lewat (%)
 - Kolom 3 : berat kerikil yang lewat (%)
 - Kolom 4 : kolom 2 dikalikan P, $P = 1$
 - Kolom 5 : kolom 3 dikalikan K, $K = 3$
 - Kolom 6 : kolom 4 + kolom 5
 - Kolom 7 : kolom 6 dibagi ($P + K$)
- c) Gambarkan gradasi hasil campuran (kolom7) ke dalam kurva standar, yaitu Gb. 1.3, 1.4, 1.5 atau 1.6. Apabila hasil gradasi yg diperoleh di atas tidak masuk di dalam kurva standar, maka proporsi antara pasir dan kerikil diulangi lagi, sampai diperoleh gradasi yang memenuhi standar.

CONTOH HITUNGAN CAMPURAN PASIR DAN KERIKIL

Lubang ayakan (mm)	Berat Butir yg Lewat					
	Pasir	Kerikil	(2) x P	(3) x K	(4) + (5)	(6)/ (P + K)
	%	%				
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
38	100	100	100	300	400	100
19	100	100	100	300	400	100
9,6	100	31	100	93	193	48
4,8	100	7	100	21	121	30
2,4	92	0	92	0	92	23
1,2	76	0	76	0	76	19
0,6	48	0	48	0	48	12
0,3	20	0	20	0	20	5
0,15	4	0	4	0	4	1



RANGKUMAN :

- Fungsi agregat di dalam beton adalah untuk menghemat penggunaan semen Portland, menghasilkan kekuatan yang besar pada beton, mengurangi penyusutan pada beton, menghasilkan beton yang padat bila gradasinya baik.
- Sifat – sifat agregat yang mempengaruhi mutu beton terdiri dari : bentuk butiran dan keadaan permukaan, kekuatan Agregat, berat jenis agregat, bobot Isi (Bulk Density), porositas, kadar air dan daya serap air, sifat kekal agregat, reaksi alkali agregat, sifat termal dan gradasi agregat.
- Gradasi agregat akan mempengaruhi sifat-sifat beton, baik beton segar maupun beton kaku, yaitu : pada beton segar, gradasi agregat akan mempengaruhi kelecakan (workability), jumlah air pencampur, sifat kohesif, jumlah semen yang diperlukan, segregasi dan bleeding. Pada beton kaku (beton keras), akan mempengaruhi kekuatan beton dan keawetannya (durabilitas).
- Modulus kehalusan butir (angka kehalusan) adalah jumlah persen tertinggal kumulatif pada tiap-tiap ayakan dari suatu seri ayakan yang ukuran lubangnya berbanding dua kali lipat, dimulai dari ayakan berukuran lubang 0,15 mm, dibagi 100.
- Menurut British Standard (BS) kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus (zone 4), agak halus (zone 3), agak kasar (zone 2) dan kasar (zone 1).
- Susunan butiran agregat di pasaran yang tidak memenuhi persyaratan di dalam pembuatan adukan beton maka agregat harus dicampur agar gradasinya sesuai standard akan menghasilkan beton yang mempunyai kuat tekan baik. Ada beberapa kemungkinan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki gradasi agregat, yaitu : menambah friksi (bagian) butiran agregat yang kurang, mengurangi jumlah butiran-butiran yang terlalu banyak, menggabungkan dua atau lebih jenis agregat agar diperoleh gradasi yang memenuhi syarat.

SOAL-SOAL LATIHAN :

1. Jelaskan apa yang akan terjadi pada beton segar maupun beton kaku apabila ukuran butiran agregatnya (gradasi) seragam.
2. Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh data pengujian agregat halus sebagai berikut :

Berat pasir dalam kondisi SSD : 505 gram

Berat pasir kering oven : 490 gram

Berat piknometer berisi air : 680 gram

Berat piknometer berisi air dan pasir : 998 gram

Hitung : Berat jenis SSD, Berat jenis bulk, Berat jenis semu dan penyerapan air pasir tersebut

3. Dari hasil pengujian agregat kasar diperoleh data pengujian sebagai berikut :

Volume wadah : 2,623 liter

Berat wadah : 4700 gram

Berat wadah berisi agregat kasar dalam kondisi lepas : 14 kg

Berat wadah berisi agregat kasar dalam keadaan padat : 15,2 kg

Hitung berat isi padat dan berat isi lepas dari agregat kasar tersebut

4. Dari hasil uji ayak dari dua jenis pasir diperoleh data sebagai berikut :

Ukuran Ayakan (mm)	Berat tertinggal Pasir A (gram)	Berat tertinggal Pasir B (gram)	Spesifikasi pasir Zone 2
9.6	0	0	100-100
4.8	0	0	90-100
2.4	255	5	75-100
1.2	200	100	55-90
0.6	190	145	35-59
0.3	80	280	8-30
0.15	0	150	0-10

Dari data di atas Hitung :

- a. Modulus Halus Butir Pasir A dan Pasir B.
- b. Gabungkan dua jenis pasir yang mempunyai gradasi berbeda agar dihasilkan agregat dengan gradasi optimum yang sesuai spesifikasi.
- c. Gambarkan kurva gradasi agregat gabungan.

BAB III.

BAHAN PEREKAT HIDROLIS

Bahan perekat hidrolis adalah suatu bahan yang apabila dicampur dengan air akan membentuk pasta kemudian mengeras dan setelah mengeras tidak larut kembali dalam air. Jadi bahan perekat hidrolis akan *bersifat sebagai perekat apabila berhubungan dengan air*.

Perekat hidrolis yang biasa digunakan terdiri dari :

1. Gips hemihidrat
2. Kapur padam
3. Puzzolan
4. Semen Portland

3.1. GIPS

Gips merupakan jenis batuan endapan yang terbentuk secara kimiawi dari kapur dan sulfat yang larut dalam tanah membentuk calcium sulfat (CaSO_4).

Gips yang dari alam merupakan senyawa stabil berbentuk $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Air yang terkandung di dalam gips itu bukan air bebas tetapi air yang bersatu dengan molekulnya sehingga sifat dari *gips alam adalah stabil*.

Apabila gips alam dipanasi pada suhu di atas 100°C , maka sebagian air molekulnya terlepas dan membentuk $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ yang biasa disebut **gips hemihidrat** yang mempunyai sifat tidak stabil. Pada pelepasan $1\frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ nya menggunakan energi panas tinggi yang tersimpan di dalam gips hemihidrat tersebut. Gips hemihidrat yang bereaksi dengan air maka air molekul di dalam gips kembali ke jumlah semula seperti gips alam. Akibat reaksi ini, panas yang tersimpan dalam gips hemihidrat akan dikeluarkan dan molekul-molekul gips yang terpisah (karena pembakaran) bersatu kembali ke bentuk stabil $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Ini berarti gips mengeras setelah diberi air dan dapat digunakan sebagai adukan.

Batuan gips (gips alam) yang dipanasi pada suhu di atas 200°C maka air hablur yang terdapat di dalam batuan gips akan menguap dan gips akan sulit menarik air kembali. Gips ini mempunyai sifat yang keras dan membatu dan tidak dapat digunakan sebagai bahan perekat pada adukan. Gips ini disebut dengan gips anhidrat (CaSO_4).

Proses Pembuatan Gips Hemihidrat

- Batuan gips dari alam dipanasi terlebih dahulu pada suhu $\pm 60^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}$ supaya mudah digiling menjadi tepung gips.
- Tepung hasil gilingan kemudian dipanggang pada teromol berputar dengan suhu tidak boleh lebih dari 170°C .
- Pemangangan dilakukan selama 1 jam pada suhu tetap, kemudian diangkat dan disimpan pada tempat kering.
- Tepung gips hasil pemangangan digiling halus dan diayak sehingga kehalusannya lolos pada saringan 170 mesh.
- Tepung gips yang sudah diayak disimpan pada tempat yang tertutup rapat.
- Gips hemihidrat yang digunakan sebagai adukan akan mengalami pengerasan dalam waktu 5 – 10 menit.

Sifat-Sifat Gips

- Bila gips alam dipanasi pada suhu di atas 40°C , maka air hablurnya mulai menguap.
- Bila gips alam dipanasi sampai suhu $130^\circ\text{C} - 170^\circ\text{C}$, tidak semua air hablurnya menguap sehingga gips mempunyai sifat cepat dapat menarik air kembali. Gips ini disebut dengan gips hemihidrat. Gips jenis ini yang digunakan sebagai bahan perekat hidrolis. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} - 1\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$

$\uparrow 150^\circ\text{C}$ Gips Hemihidrat

- Bila gips alam dipanasi di atas 200°C semua air hablurnya menguap sehingga gips berubah menjadi gips anhidrida yang bersifat tidak dapat menarik air dari luar (membatu) sehingga tidak dapat digunakan sebagai bahan perekat.

Penggunaan Gips :

- Dalam bentuk gips alam, digunakan sebagai bahan baku pembuatan semen yang berguna untuk memperlambat proses pengerasan semen. Semen yang tidak dicampur dengan gips alam pengerasan membutuhkan waktu 10 menit. Dengan ditambahkan gips alam, pengerasan semen menjadi kurang lebih 60 menit.
- Dalam bentuk gips hemihidrat, di bidang bangunan digunakan sebagai perekat untuk membuat papan gypsum yang dicampur dengan serat, biasanya digunakan untuk plafond.

3.2. KAPUR

- ✚ Kapur telah dikenal dan dipergunakan orang sejak ribuan tahun lalu sebagai bahan adukan pasangan dan plesteran untuk bangunan.
- ✚ Zaman dahulu pembuatan kapur dilakukan dengan cara membakar batu kapur pada tungku-tungku sederhana. Hasil pembakaran ini kemudian dicampur dengan air dan terbentuklah bahan perekat.
- ✚ Pada saat ini, kapur banyak digunakan dalam bidang pertanian, industri kimia farmasi, industri baja, industri karet, industri kertas, industri gula, industri semen, dll.

a. Jenis-jenis Batu Kapur

- ✚ Sifat-sifat batu kapur sangat dipengaruhi oleh pengotoran atau tercampurnya unsur-unsur lain. Oleh karena itu jenis batu kapur dibedakan menurut kemurniaannya, yaitu :
 - a) Batu kapur kalsium (CaCO_3) dengan kemurnian tinggi, bila unsur lain < 5 %
 - b) Batu kapur Magnesia ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$) bila mengandung 5 – 20 % magnesia magnesium karbonat.
 - c) Batu kapur dolomite, bila mengandung magnesium karbonat > 30 % tetapi < 44 %.
 - d) Batu kapur hidrolis, bila mengandung > 5 % senyawa lain yang terdiri dari alumina, silica dan besi.

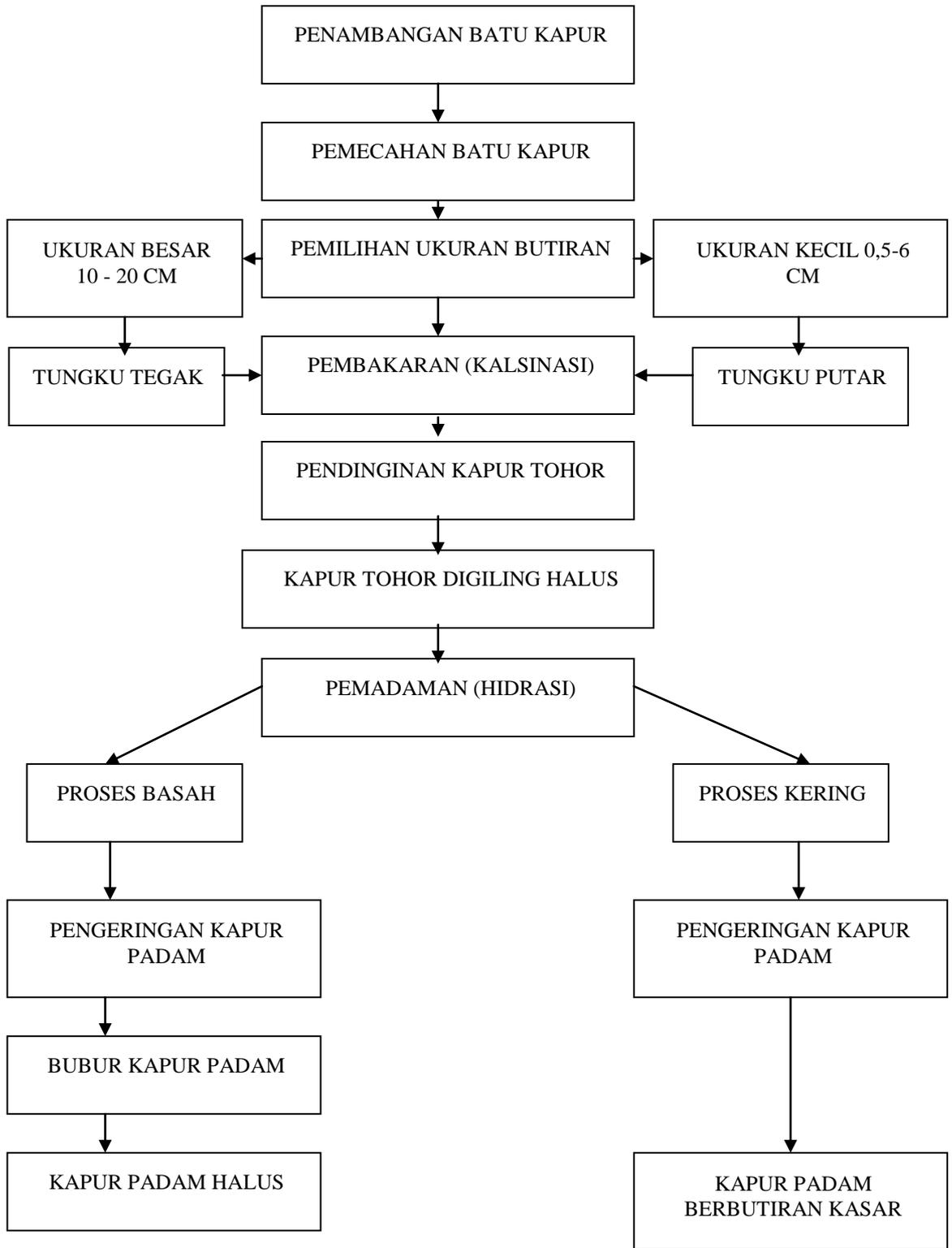
- e) Margel, batu kapur yang tercampur tanah liat didapat dalam bentuk gumpalan lunak dan mudah terlepas. Batu kapur jenis ini biasanya digunakan sebagai bahan dasar semen.
- f) Marmer dan batu kapur padat. Batu kapur ini mengandung bermacam-macam senyawa lain yang mengalami metamorphose sehingga mempunyai warna bermacam-macam, bentuk kristal berbeda-beda dan keadaannya padat dan keras.

- ✚ Untuk membedakan batu kapur dengan batuan lainnya dapat dilakukan dengan cara meneteskan asam chloride (HCL) pada permukaan batuan tersebut. Asam chlorida akan bereaksi dengan batu kapur, reaksi yang terjadi adalah :



b. Pengolahan Batu Kapur menjadi Kapur

- ✚ Untuk menghasilkan 1 ton kapur tohor, secara teoritis diperlukan 1,79 ton batu kapur kalsium atau 1,9 ton batu kapur magnesium. Tetapi dalam prakteknya diperlukan minimal 2 ton batu kapur untuk menghasilkan kapur tohor. Hal ini tergantung dari jenis tungku pembakar, efisiensi tungku, sifat batu kapur dan kecermatan dalam pelaksanaan pembakaran dalam tungku.
- ✚ Proses pengolahan kapur dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 7.1. Proses Pengolahan Kapur

c. Pembakaran Batu Kapur

- ✚ Pembakaran batu kapur pada suhu 500°C tidak banyak berpengaruh, hanya menguapkan air yang dikandungnya saja. Jika dipanaskan terus, pada suhu tertentu batu kapur akan mengurai dan berubah molekulnya.
- ✚ Batu kapur kalsium (CaCO₃) mulai mengurai pada suhu 900°C dan batu kapur magnesium (MgCO₃) mulai mengurai pada suhu 700 – 770°C. Pada suhu ini penguraian belum sempurna, sehingga diperlukan suhu yang lebih tinggi agar batu kapur terurai sempurna.
- ✚ Suhu dimana batu kapur mulai mengurai disebut dengan “**suhu keseimbangan/suhu desosiasi**”.
- ✚ Reaksi kimia proses penguraian :
 - 1) $\text{CaCO}_3 + \text{suhu } 900^\circ\text{C} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
Batu kapur kalsium + dipanaskan suhu 900°C → kapur tohor kalsium + gas
 - 2) $\text{MgCO}_3 + \text{suhu } 700\text{-}770^\circ\text{C} \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$
Batu kapur magnesium + dipanaskan suhu 700-770°C → kapur tohor magnesium + gas
 - 3) $\text{CaCO}_3 \text{MgCO}_3 + \text{suhu } 700\text{-}900^\circ\text{C} \rightarrow \text{CaOMgO} + 2\text{CO}_2$
Batu kapur dolomit + dipanaskan suhu 700-900°C → kapur tohor dolomit + gas
- ✚ Bila pemanasan mencapai suhu terlalu tinggi, oksida yang terbentuk akan memadat dan sukar bereaksi dengan air pada saat proses pemadaman. Kondisi ini disebut dengan *terbakar lewat*.
- ✚ Suhu pembakaran batu kapur yang ideal 1000°C-1350°C. Pada suhu ini, penguraian mula-mula terjadi pada permukaan batu kapur, kemudian perlahan-lahan pada bagian butirnya. Waktu yang diperlukan tergantung dari besarnya ukuran butiran batu kapur yang dibakar.
- ✚ Pada pembakaran batu kapur terjadi 2 hal :
 - 1) Pembakaran tidak sempurna dimana bagian dalam butiran batu kapur tidak mengalami penguraian dan batu kapur akan merupakan butiran-butirab

kecil yang tidak terbakar. Biasanya suhu pembakaran di bawah suhu desosiasi.

2) Suhu yang terlalu tinggi dan pembakaran yang terlalu lama, menyebabkan batu kapur terbakar lewat/mencapai titik lelehnya. Oksida kapur yang terbentuk volumenya menyusut 25 – 50 % sehingga menjadi keras dan pori-porinya menjepit. Kondisi ini membuat kapur sukar bereaksi dengan air/sukar dipadamkan.

✚ Kedua hal ini diusahakan tidak terjadi karena kapur yang dihasilkan berbutir kasar dan mengganggu pada saat pemakaian kapur.

✚ Pembakaran kapur dilakukan di tungku-tungku pembakaran yang dindingnya menggunakan bata tahan api.

✚ Ada 2 jenis tungku pembakaran, yaitu tungku tegak (shaft kiln) dan tungku putar. Tungku tegak digunakan untuk membakar batu kapur dengan ukuran butiran kecil, sedangkan tungku tegak digunakan untuk ukuran butiran besar.

✚ Tungku yang biasa digunakan adalah tungku tegak, dengan tinggi 6 – 14 meter, diameter 1,5 – 3,6 meter. Bahan bakar yang digunakan berupa kayu bakar dan minyak bakar. Untuk di Indonesia, masih menggunakan tungku tegak tradisional.

✚ Proses pembakaran di dalam tungku :

- 1) Batu kapur dimasukkan dari bagian atas tungku. Ukuran batu kapur 10 – 20 cm.
- 2) Bahan bakar dipasang di bagian bawah, sedikit di atas dasar tungku.
- 3) Kapur tohor hasil pembakaran dikeluarkan dari dasar tungku.
- 4) Batu kapur di dalam tungku mengalami proses : penyiapan batu kapur, pemanasan pendahuluan, pembakaran (kalsinasi), pendinginan kapur tohor.

d. Pemadaman kapur Tohor

✚ Pemadaman kapur (slakking) bertujuan untuk merubah kapur tohor menjadi kapur hidroksida dengan cara mereaksikannya dengan air.

✚ Ada 2 cara pemadaman kapur, yaitu :

- 1) *Pemadaman Kering*

Kapur tohor yang akan dipadamkan dihamparkan di atas lantai terbuka setebal 30 – 50 cm, kemudian disiram air sebanyak $\pm \frac{1}{2}$ x berat kapur tohor. Akibat penyiraman air ini kapur tohor berubah menjadi kapur padam Ca(OH)_2 , volumenya berubah, kapur menjadi panas dan airnya menguap. Setelah reaksinya berhenti, kapur padam ini diaduk-aduk. Bila masih ada bagian kapur yang belum padam, disiram lagi dengan air. Hasil pepadaman dibiarkan selama 24 jam, kemudian diaduk lagi untuk memisahkan butir-butir batu kapur yang belum pecah dan masih mentah. Kemudian kapur padam ditimbun di tempat terbuka.

Cara pepadaman ini paling banyak dilakukan orang. Dari pepadaman cara ini didapatkan bubuk kapur padam berwarna putih.

Kerugian-kerugian pepadaman dengan cara kering adalah :

- a) Panas dan uap yang timbul dalam proses hidrasi cepat hilang sehingga sering dijumpai masih terdapat butir-butir kapur yang belum padam. Uap panas ini berguna untuk mempercepat pepadaman kapur tohor, terutama untuk kapur yang terbakar lewat.
- b) Air yang dipakai kurang terkontrol sehingga kapur yang dihasilkan seringkali terlalu basah. Pada umumnya hasil pepadaman mempunyai kadar air 20 25 %. Kapur padam yang terlalu basah akan mudah menarik CO_2 dari udara sehingga akan terbentuk CaCO_3 kembali. Pada penyimpanan yang agak lama, kapur yang terlalu basah akan cepat mengeras dan mengganggu proses pengikatannya. Pepadaman yang baik menghasilkan kapur tohor berbutiran halus dengan kadar air kurang dari 10 %.
- c) Setelah dilakukan pepadaman, seringkali tidak dilakukan pengayakan maupun penggilingan sehingga kapur yang dihasilkan mengandung butiran-butiran kasar yang mungkin terdiri dari kapur yang belum padam atau kapur mentah. Batu kapur yang belum padam ini berakibat buruk pada saat kapur digunakan sebagai perekat adukan karena akan terjadi pepadaman susulan setelah kapur ada di dalam tembok. Hal ini menyebabkan tembok retak atau pecah-pecah setempat.

2) *Pemadaman Basah*

Pemadaman basah menghasilkan kapur padam berbentuk bubuk. Cara ini biasanya dilakukan bila kapur padamnya akan segera dipakai. Pemadaman dilakukan di dalam bak. Kapur tohor diberi air yang banyak \pm 2- 3 kali dari berat kapur tohornya. Pada proses ini terjadi proses hidrasi dari kapur tohor menjadi kapur padam Ca(OH)_2 dan panas, sehingga air di dalam bak terlihat mendidih. Kapur padam yang dihasilkan dibiarkan di dalam bak selama 1 hari dan hasilnya berupa kapur padam kental. Pemadaman dengan cara ini menghasilkan kapur padam yang lebih baik, berbutiran halus dan kapur yang terbakar lewat dapat terpadamkan dengan sempurna. Kerugiannya adalah dihasilkan kapur padam yang basah sehingga tidak dapat disimpan terlalu lama.

e. Proses Pengerasan Kapur

- ❖ Kapur dapat mengeras dan mempunyai kekuatan disebabkan oleh dua macam proses kimia yang terjadi di lingkungan basah (bila ada air), yaitu :
 - 1) Kapur padam bereaksi dengan CO_2 dari udara dan membentuk karbonat, (kalsium karbonat atau batu kapur).
 - 2) Kapur padam bereaksi dengan senyawa lain terutama silika dan membentuk kalsium silikat yang mengeras seperti batu serta tidak larut dalam air.

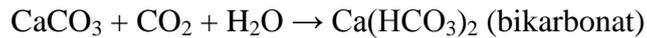
Keterangan

1) *Pengerasan dengan CO_2*

Pengerasan kapur terjadi karena reaksi kimia : $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Kapur padam di dalam adukan tembok atau plester mengikat CO_2 dari udara kemudian mengeras menjadi batu kapur (CaCO_3). Proses ini hanya terjadi jika kapur dalam keadaan basah oleh air. Dalam keadaan kering reaksi ini tidak dapat terjadi.

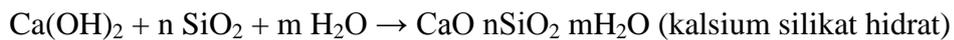
Bila gas CO_2 berlebihan dan selalu dalam keadaan basah, CaCO_3 yang telah terbentuk akan larut dalam air. Oleh karena itu tembok atau adukan yang selalu terendam dalam air akan cepat rusak. Reaksi yang terjadi adalah :



2) *Pengerasan dengan senyawa lain*

Pengerasan ini terjadi pada adukan yang dibuat dari kapur dan pasir. Kapur padam bereaksi dengan silica, alumina dan besi yang terkandung dalam pasir, semen merah(tras) sehingga terbentuk senyawa kompleks kalsium silikat hidrat.

Reaksinya adalah :



Bila terdapat pula oksida alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3), maka oksida ini akan bergabung dengan silikat hidrat sehingga membentuk senyawa kompleks yang keras seperti batu dan tidak larut dalam air. Silika murni berbentuk kristal dan sukar bereaksi dengan kapur. Oleh karena itu diperlukan silica aktif, yaitu silica amorf atau mikro kristalin yang terdapat pada semen merah atau tras. Oleh sebab itu, adukan yang terbuat dari kapur dan pasir bersih saja kekuatannya/kekerasannya kurang baik dibandingkan bila adukan dicampur dengan kapur, semen merah/tras dan pasir.

- ❖ Pengerasan kapur hanya terjadi apabila diberi air dan kapur mempunyai butiran-butiran yang halus.
- ❖ Syarat-syarat kapur yang baik :
 - 1) Mengandung butiran-butiran halus dan aktif
 - 2) Sebelum dipakai harus dalam keadaan kering
 - 3) Pada penimbunan, kapur harus selalu kering dan tertutup.

f. Mutu dan sifat-sifat kapur

- Mutu kapur yang dihasilkan suatu industri sangat dipengaruhi oleh : mutu dan kemurnian batu kapur sebagai bahan baku, kesempurnaan pembakaran dan pemataman kapur tohor.
- Sifat-sifat penting yang menentukan mutu kapur adalah :
 - 1) Prosentase bagian yang aktif dalam kapur, yaitu kadar CaO , SiO , Al_2O_3 dan MgO .

- 2) Kehalusan butiran. Kapur tidak boleh mengandung butiran kasar, yang biasanya terdiri dari bagian kapur yang belum terbakar sempurna, terbakar lewat atau belum terpadamkan.
 - 3) Kekekalan bentuk adukan yang terbuat dari kapur tersebut.
 - 4) Kekuatan adukan yaitu berupa kuat tekan adukan yang terbuat dari campuran kapur, pasir dan air.
- Mengenai mutu dan sifat kapur untuk bangunan dan pengujiannya tercantum dalam SII 00244-80.

3.3. POZOLLAN/TRASS

- ✚ Teras atau pozollan adalah suatu jenis bahan galian yang berasal dari pelapukan mineral deposit vulkanik.
- ✚ Teras disebut juga dengan puzolan karena pertama kali ditemukan oleh bangsa Roma kuno. Pada saat itu bangsa Roma kuno membuat bangunan menggunakan bahan galian dari permukaan bumi yang merupakan campuran halus dari debu vulkanik yang terdapat di dekat kota Puzzuoli. Oleh karena itu bangsa Roma menamakan bahan galian tersebut dengan *pozzolan*.
- ✚ Teras atau puzolan mengandung unsur silika, besi dan aluminium yang tidak mempunyai sifat penyemenan, tetapi dalam bentuk serbuk halus dan bila dicampur dengan air dapat bereaksi dengan kalsiumhidroksida pada suhu ruangan dan membentuk senyawa yang mempunyai sifat semen, yaitu mengalami proses pengerasan dan setelah keras tidak larut dalam air.
- ✚ Suatu bahan galian diklasifikasikan sebagai teras/puzolan alam apabila mempunyai komposisi kimia seperti yang disyaratkan oleh ASTM C 618-78, yaitu :

Tabel 7.1. Komposisi Kimia Pozollan

PARAMETER	PERSEN BERAT (%)
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min	70,0
SO ₃ , maks	4,0
Hilang pijar, maks	3,0
Kadar air, maks	10,0

- ✚ Bahan galian teras di alam mempunyai variasi warna seperti putih, kemerahan, kecoklatan dan kehitaman, tergantung unsur kimianya yang dominan.
- ✚ Syarat mutu pozollan menurut Yayasan Dana Normalisasi Indonesia-Ni-20 adalah sebagai berikut :

Persyaratan Pozollan	Tingkat I	Tingkat II	Tingkat III
1. Kadar air bebas, % berat kering	6,0	6,0-8,0	8,0-10,0
2. Kehalusan <2,5 mm, > 0,21 mm, %	10,0	10-30	30-50
3. Pengikatan 1 Kp + 2 pozolan, hari	1	2	3
4. Kuat tekan adukan 1Kp : 2Poz : 3 ps standar, 1+3 hari, kg/cm ²	>100	100-75	75-50
5. Kuat Tarik, kg/cm ²	>16	16-12	12-8

- ✚ Teras dalam keadaan sendiri tidak memiliki sifat-sifat khas semen, tetapi bila direaksikan dengan kapur dan air dalam perbandingan tertentu akan menghasilkan suatu massa yang memiliki sifat-sifat seperti semen dan tidak larut dalam air. Sifat-sifat seperti semen ini disebabkan oleh senyawa silika aktif dan senyawa aluminat reaktif.
- ✚ Teras/puzolan dibedakan menjadi 2 jenis yaitu teras alam dan teras buatan.
 - 1) Teras alam, terdiri dari :
 - a) Batu apung, obsidian, scoria, tuf, santorin dan teras yang dihasilkan dari batuan vulkanik.
 - b) Teras yang mengandung silika halus, amorph yang tersebar dalam jumlah banyak dan dapat bereaksi dengan kapur jika

dicampur dengan air, kemudian membentuk silikat yang mempunyai sifat-sifat hidrolik.

2) Teras buatan, meliputi abu arang batu, terak ketel uap dan hasil tambahan dari pengolahan bijih bauxite.

✚ Cara pembuatan teras sebagai bahan perekat, yaitu dengan cara menggiling langsung batuan vulkanik atau dengan membakar kemudian menggiling lempung, batu tulis dan tanah diatomee.

✚ Semen teras meliputi semua bahan semen yang terbuat dari campuran teras dan kapur yang tidak membutuhkan pembakaran.

Semen teras jarang sekali digunakan untuk pembuatan beton karena kuat tekannya rendah, tetapi biasa digunakan untuk membuat adukan pasangan tembok, plesteran dan sebagai bahan campuran pembuatan batako. Selain itu semen teras juga dapat digunakan untuk beton apabila dibutuhkan banyak semen tetapi bangunan tersebut tidak perlu terlalu kuat. Dalam jumlah terbatas semen teras juga digunakan untuk pembuatan beton dalam jumlah banyak yang membutuhkan panas hidrasi rendah.

Fungsi trass yang ditambahkan pada beton adalah :

- Dapat meningkatkan workability beton
- Memperlambat pengerasan beton
- Membuat beton lebih kedap
- Meningkatkan ketahanan beton terhadap pengaruh sulfat dengan cara menghalangi terbentuknya CaSO_4 .
- Meningkatkan ketahanan beton terhadap pengaruh alkali reaktif pada agregat. Apabila agregat yang mengandung alkali reaktif bertemu dengan alkali pada semen menyebabkan beton mengembang dan pecah. Fungsi pozollan pada beton adalah menetralkan pengaruh alkali reaktif tersebut.

3.4. SEMEN PORTLAND

a. Pendahuluan

- Semen Portland adalah bahan perekat hidrolis yaitu bahan perekat yang dapat mengeras bila bersenyawa dengan air dan berbentuk benda padat yang tidak larut dalam air.
- Semen hidrolis pada mulanya dibuat oleh Joseph Parker th 1796 dengan membakar batu kapur argilasius yaitu batu kapur yg mengandung $\pm 20\%$ oksida silika, alumina dan besi.
- Th 1824 Joseph Aspdin mempatenkan jenis semen yg dibuat dengan membakar batu kapur yang mengandung tanah liat dari pulau Portland di Dorset Inggris. Semen jenis inilah yang pertama membawa nama semen Portland. Tetapi dalam pembuatan semen ini pembakarannya tidak sampai berbentuk klinker (terak).
- Th 1845 Isaac Johnson menemukan semen modern dengan cara membakar batu kapur dan tanah liat sampai berbentuk terak, kemudian menggiling terak tersebut sampai halus. Pada waktu itu untuk membakar dipergunakan tungku tegak sederhana.
- Th 1895 Murry dan Seamen dari Amerika menemukan tungku putar modern yang dipergunakan untuk produksi semen sampai saat ini.
- Di Indonesia, pabrik semen pertama kali didirikan di Indarung Sumbar th 1911. Pada th 1955 pabrik semen Gresik mulai menggunakan tungku putar. Th. 1968 dibangun pabrik semen di Tonasa Ujung Pandang, Th 1970 di Cibinong, kemudian Baturaja, Andalas dan Kupang.

b. Bahan Baku

- Semen Portland dibentuk dari oksida-oksida utama yaitu : Kapur (CaO), Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), Besi (Fe_2O_3).
- Bahan baku untuk memperoleh oksida-oksida tersebut adalah :
 1. Batu kapur kalsium (CaCO_3), setelah mengalami proses pembakaran menghasilkan kapur oksida (CaO).
 2. Tanah liat yang mengandung oksida Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), Besi (Fe_2O_3).

3. Pasir kuarsa atau batu silica untuk menambah kekurangan SiO_2 .
4. Pasir besi untuk menambah kekurangan Fe_2O_3 .

c. Proses Pembuatan Semen

- Secara umum proses pembuatan semen adalah :
 1. Penambangan bahan baku
 2. Persiapan dan penyediaan bahan mentah/baku. Bahan baku hasil penambangan dipecah dengan mesin pemecah, digiling halus, dicampur merata dalam perbandingan tertentu yang telah dihitung sebelumnya dan dilakukan di mesin pencampur.
 3. Pembakaran. Bahan baku dimasukkan ke dalam tungku pembakaran dan dibakar sampai suhu 1450°C sehingga berbentuk terak.
 4. Penggilingan Terak dan penambahan Gips. Terak yang sudah dingin (suhu $\pm 90^\circ$) digiling halus bersama-sama dengan gips.
 5. Pengepakan.
- Dalam proses pembuatan semen ada dua macam proses, yaitu : proses basah dan kering.
- PROSES BASAH, dilakukan bila bahan-bahan yang diolah dalam bentuk lunak seperti batu kapur yang bercampur lempung. Prosesnya adalah sebagai berikut :
 1. Tanah liat dan air diaduk kemudian dibersihkan di dalam bejana dipindahkan ke bejana lain dengan kadar air 35 – 50 %.
 2. Batu kapur digiling di jaw dan roll crusher ditambah air kemudian diaduk dalam ballmill dengan kadar air 35 – 50 %.
 3. Penambahan bahan-bahan koreksi bila dibutuhkan.
 4. Semua bahan dicampur kemudian dimasukkan ke dalam tungku putar untuk dibakar, dimana pembakaran dilakukan secara bertahap yaitu :
 - Pengeringan, suhu $\pm 120^\circ\text{C}$.
 - Pemanasan pendahuluan, suhu 120°C - 850°C .
 - Kalsinasi (penguraian kapur, kapur berubah susunan kimianya, karbondioksida keluar), 850°C - 1100°C .

- Sintering (pelelehan), dimana pada suhu 1100°C-1450°C terjadi perpaduan diantara oksida-oksida tersebut sehingga membentuk senyawa kalsiumsilikat dan kalsiumaluminat pada terak/klinker semen.
 - Pendinginan terak, suhu 1450°C-1000°C.
5. Setelah dibakar maka terbentuklah klinker yang masih panas kemudian dari tungku dipindahkan ke tempat penyimpanan.
 6. Di tempat ini klinker dibiarkan mendingin sampai mencapai suhu < 90°C.
 7. Setelah itu ditimbun sampai mencapai suhu ruang.
 8. Ditambahkan gips asli berbentuk kalsium sulfat hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sebanyak $\pm 2 - 4 \%$ kemudian digiling bersama-sama klinker dalam ballmill.
 9. Diayak dengan ayakan 75 mikron atau lebih halus lagi untuk semen mengeras cepat.
 10. Ditempatkan dalam silo-silo penyimpanan.
 11. Dikemas dalam kantong 50 kg.
 12. Didistribusikan
- PROSES KERING, dilakukan jika bahan bakunya berupa batuan yang keras atau lebih keras daripada batuan yang diolah pada proses basah. Prosesnya dilakukan sebagai berikut :
 1. Bahan baku dipecah menjadi butiran agak halus lalu dikeringkan dalam bejana-bejana pengering.
 2. Bahan yang telah kering digiling halus menjadi tepung dan masing-masing bahan ini dipisahkan tersendiri, kemudian dicampur dalam perbandingan tertentu sesuai dengan perhitungan komposisi yang dikehendaki dan dicampur dalam mesin pencampur berputar.
 3. Bahan berbentuk tepung ini dimasukkan dalam system pembakaran yang terdiri dari :
 - Dilakukan pemanasan pendahuluan pada alat Pemanas pendahuluan berbentuk “cyclone preheater” atau yang lebih modern “suspension preheater”.

- Dilakukan kalsinasi pada alat kalsinator untuk menguraikan kapur menjadi kapur oksida pada suhu 900°C.
 - Dibakar pada tungku putar yang jauh lebih pendek dari tungku pada proses basah sampai terjadi leburan bahan menjadi terak/klinker semen.
4. Setelah dibakar maka terbentuklah klinker yang masih panas kemudian dari tungku dipindahkan ke tempat penyimpanan.
 5. Di tempat ini klinker dibiarkan mendingin sampai mencapai suhu < 90°C.
 6. Setelah itu ditimbun sampai mencapai suhu ruang.
 7. Ditambahkan gips asli berbentuk kalsium sulfat hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sebanyak $\pm 2 - 4 \%$ kemudian digiling bersama-sama klinker dalam ballmill.
 8. Diayak dengan ayakan 75 mikron atau lebih halus lagi untuk semen mengeras cepat.
 9. Ditempatkan dalam silo-silo penyimpanan.
 10. Dikemas dalam kantong 50 kg.
 11. Didistribusikan
- Tungku Putar berbentuk silinder terbuat dari baja tebal pada bagian luarnya, sedangkan pada bagian dalam dilapisi batu tahan api. Tungku dipasang miring 2-5° sehingga massa dalam tungku dapat mengalir. Tungku ini ditempatkan pada landasan roll sehingga dapat berputar. Kecepatan putaran $\frac{1}{2}$ rpm. Bahan bakar umumnya batu bara tua (antrasit) atau minyak bakar.

d. Sifat Kimia Semen

- Susunan oksida yang membentuk semen terdiri dari :
 - CaO 60-67 %
 - SiO₂ 17-25 %
 - Al₂O₃ 3-8 %
 - Fe₂O₃ 0,5-6 %
 - MgO 0,1-4 %
 - Alkali(K₂O + Na₂O) 0,2 – 1,3 %
 - SO₃ 1-3 %

- Setelah melalui proses pembakaran, oksida ini berubah menjadi senyawa-senyawa yang membentuk semen. Senyawa semen terdiri dari :
 - a) Trikalsium silikat 3 CaO SiO_2 disingkat C_3S
 - b) Dikalsium silikat 2 CaO SiO_2 disingkat C_2S
 - c) Trikalsium aluminat $3 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3$ disingkat C_3A
 - d) Tetrakalsium alumino forit $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ disingkat C_4AF .
- C_3S dan C_2S merupakan senyawa utama yang dapat mengakibatkan bersifat semen (perekat). Jumlah kedua senyawa ini 70 – 80 %. Semen Portland dengan kadar C_3S yg lebih tinggi dari pada kadar C_2S pada umumnya mempunyai sifat mengeras lebih cepat.
- C_3A dan C_4AF merupakan senyawa bawaan dari bahan dasarnya. Kedua senyawa ini berfungsi sebagai pencair (fluk) pada waktu pembakaran sehingga pembentukan C_2S dan C_3S cukup dengan suhu 1300 - 1450°C.
- Senyawa C_3A tidak mempunyai sifat semen. Senyawa ini bila terkena air segera bereaksi dan mengeluarkan panas kemudian hancur. Kadar C_3A dalam semen maksimum 18 %. Bila lebih, maka semen mempunyai sifat tidak kekal bentuknya (mengembang) akibat panas yang terlalu tinggi pada waktu pengerasannya. Selain itu senyawa ini juga dapat dipengaruhi oleh senyawa sulfat (SO_3), sehingga semen menjadi tidak tahan sulfat. Untuk semen tahan sulfat, ASTM mensyaratkan kadar senyawa ini mak 3 %.
- Untuk memperendah C_3A , maka dalam pembuatannya ditambahkan bijih besi sehingga senyawa C_4AF menjadi tinggi. Senyawa ini tidak membahayakan bagi semen, tetapi bila jumlahnya terlalu banyak akan memperlambat pengerasan semen.
- Oksida atau senyawa lain yang tidak dikehendakai pada semen, yaitu :
 - 1) Magnesium Oksida (MgO). Kadar MgO dalam semen mak 5 %, bila lebih dari nilai ini menyebabkan semen bersifat tidak kekal bentuknya (berubah bentuknya) karena volumenya mengembang setelah pengerasan terjadi. Perubahan bentuk ini terjadi setelah beberapa lama (sekian bulan atau tahun. Hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi antara MgO dan air

membentuk magnesium hidroksida yang disertai dengan membesarnya volume. $MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + \text{kalori}$.

- 2) Kapur bebas, yaitu kalsium oksida (CaO). Ini merupakan kelebihan kapur di dalam susunan bahan baku, yang setelah proses pembakaran tidak ikut membentuk senyawa semen. Kapur bebas yang tinggi (> 67 %) juga mengakibatkan bentuk yang tidak stabil pada semen setelah mengeras. $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + \text{kalori}$.
- 3) Alkali, yaitu Na₂O dan K₂O. Kadar alkali yang tinggi mempengaruhi kecepatan pengerasan semen. Bila dalam pembuatan beton dipakai batuan yang mengandung silica reaktif dan semennya mengandung alkali tinggi, maka akan terjadi reaksi kimia antara silica dan alkali membentuk senyawa alkali silikat yang higroskopis dan membesarnya volume dalam keadaan basah. Akibat reaksi ini mengakibatkan beton retak atau pecah.

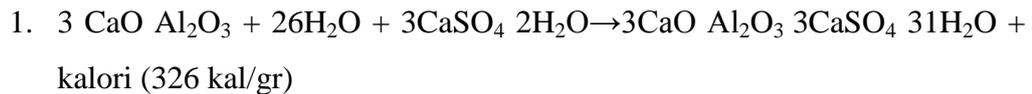
e. Pengaruh Air Terhadap PC

- Jika air ditambahkan pada semen Portland, maka akan terbentuk jaringan serabut (gel) yang menyelubungi butir-butir semen yang lain. Di dalam gel ini terdapat : *air pembentuk gel yang jumlahnya tertentu dan air bebas yang jumlahnya tergantung jumlah air pencampur pada PC.*
- Senyawa C₃S dan C₂S pada semen bila bertemu dengan air akan membentuk gel sebagai senyawa kalsium silikat hidrat yang menghasilkan kristal-kristal kapur dan senyawa hasil hidrasi C₃A dan C₄AF.
- Bila air pencampur PC terlalu banyak, akibat adanya pengeringan maka air bebas yang terdapat di dalam gel akan cepat menguap sehingga gel menjadi porous :
 - Gel menyusut banyak : terjadi retakan
 - Kekuatan gel rapuh : daya rekat semen rendah.

e. Proses Hidrasi (Pengerasan Semen)

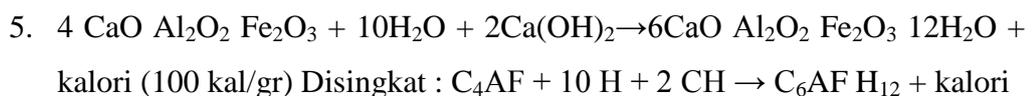
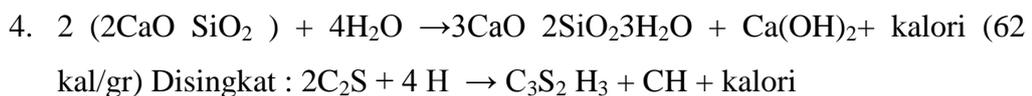
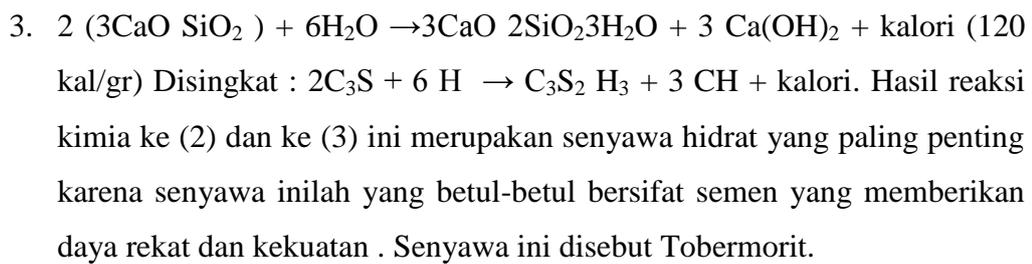
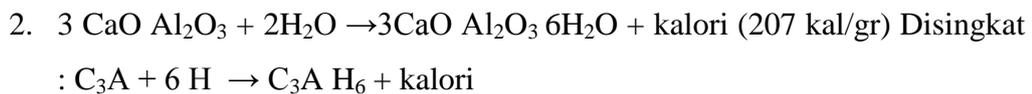
- Jika semen dicampur dengan air dan diaduk merata akan mengeras dan membentuk benda padat dan mempunyai kekuatan tertentu.

- Semen dapat mengeras, memberi daya rekat dan mempunyai kekuatan disebabkan oleh terjadinya suatu proses hidrasi, yaitu proses bereaksinya senyawa semen dengan air membentuk senyawa hidrat.
- Dalam proses hidrasi, pembentukan senyawa hidrat yang dapat mengeras disertai dengan pelepasan panas (kalori). Ini disebut dengan panas hidrasi.
- Reaksi kimia yang terjadi selama proses hidrasi adalah sebagai berikut :



Disingkat :

$\text{C}_3\text{A} + 26 \text{H} + 3\text{CSH}_2 \rightarrow \text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CSH}_{31} + \text{kalori}$ senyawa yang dihasilkan biasa disebut trisulfo aluminat atau trisulfat atau ettringite yang berperan menghambat penerasan/pengikatan semen.



Panas Hidrasi PC

- Panas hidrasi adalah panas yang terjadi ketika PC bereaksi dengan air. Pengeluaran panas tersebut tergantung dari : susunan senyawa PC, kehalusan butiran PC dan kecepatan reaksi antara butiran PC dengan Air.
- Urutan banyaknya panas yang dikeluarkan adalah : C_3A , C_3S , C_4AF , C_2S .

f. Sifat-Sifat Semen Portland

Sifat-sifat semen Portland sangat dipengaruhi oleh susunan senyawa dan oksida-oksida lain yang merupakan pengotoran. Untuk mengetahui sifat-sifat semen perlu dilakukan pengujian di laboratorium berdasarkan standar yang ada. Standar yang paling umum dianut di dunia adalah ASTM-C150, Standar british (BS-12), Standar Jerman (DIN). Untuk di Indonesia digunakan SII 0013-1977.

Sifat Kimia Semen Portland

- Di dalam tungku pada zona pembakaran (klinkering zone), urutan terbentuknya senyawa adalah :
 1. C_4AF
 2. C_3A
 3. C_2S Alpha, C_2S betha. C_2S betha + C_2S alpha + CaO bebas terbentuk klinker menjadi abu.
 4. C_3S (suhu $>1250^\circ C$. Banyaknya pembentukan C_3S tergantung dari : banyaknya kapur, komposisi perbandingan dan suhu pembakaran tinggi dan stabil.
 5. Klinker (gabungan senyawa-senyawa).
- Jika senyawa-senyawa tersebut berhubungan dengan air, maka sifatnya adalah :

Tabel 7.2. Sifat-sifat Senyawa Semen

Sifat	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
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

Sifat-sifat Fisika semen Portland

a. Kehalusan Butir (Fineness)

Kehalusan butir semen akan mempengaruhi proses hidrasi. Semakin halus butiran semen maka luas permukaan butir untuk suatu jumlah berat semen

tertentu menjadi lebih besar sehingga jumlah air yang dibutuhkan juga banyak. Semakin halus butiran semen maka proses hidrasinya semakin cepat sehingga semen mempunyai kekuatan awal tinggi. Selain itu butiran semen yang halus akan mengurangi bleeding, tetapi semen cenderung terjadi penyusutan yang besar dan mempermudah terjadinya retak susut pada beton. ASTM mensyaratkan tingkat kehalusan butiran semen adalah pada ayakan no. 200 butiran semen yang lolos sebesar lebih dari 78 %. Tingkat kehalusan semen diuji dengan alat Blaine.

b. Berat jenis dan berat isi

Berat jenis semen berkisar antara 3,10 – 3,30 dengan berat jenis rata-rata sebesar 3,15. BJ semen penting untuk diketahui karena dengan mengetahui BJ semen akan dapat dilihat kualitas semen itu. Semen yang mempunyai $BJ < 3,0$ biasanya pembakarannya kurang sempurna atau tercampur dengan bahan lain atau sebagian semen telah mengeras, ini berarti kualitas semen turun.

Berat isi gembur semen kurang lebih 1,1 kg/liter, sedang berat isi padat semen sebesar 1,5 kg/liter. Di dalam praktek biasanya digunakan berat isi rata-rata sebesar 1,25 kg/liter.

c. Waktu pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras mulai semen bereaksi dengan air sampai pasta semen mengeras dan cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat semen ada dua, (1) waktu ikat awal (initial setting time), yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air sampai pasta semen hilang sifat keplastisannya, (2) waktu ikat akhir (final setting time) yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen sampai beton mengeras.

Waktu ikat awal semen berkisar antara 1-2 jam tetapi tidak boleh kurang dari 1 jam atau lebih dari 8 jam. Waktu ikat awal semen sangat penting diketahui untuk mengontrol pekerjaan beton. Untuk tujuan-tujuan tertentu kadangkala dibutuhkan waktu initial setting time lebih dari 2 jam. Biasanya waktu yang lebih lama ini digunakan untuk pengangkutan beton (transportasi), penuangan, pemadatan dan finishing. Waktu ikatan semen akan lebih pendek

apabila temperaturnya lebih dari 30°C. Waktu ikat ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air dan lingkungan sekitarnya.

d. Kekekalan bentuk

kekekalan bentuk adalah sifat dari pasta semen yang telah mengeras, dimana bila pasta tersebut dibuat bentuk tertentu bentuk itu tidak berubah. Ketidakkekalan semen disebabkan oleh jumlah kapur bebas yang berlebihan dan magnesia yang terdapat pada semen. Kapur bebas yang terdapat di dalam adukan akan mengikat air dan menimbulkan gaya yang bersifat ekspansif. Alat yang digunakan untuk menguji sifat kekekalan semen adalah “Autoclave Expansion of Portland Cement” (ASTM C-151).

e. Kekuatan semen

Kuat tekan semen sangat penting karena akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton. Kuat tekan semen ini merupakan gambaran kemampuan semen dalam melakukan pengikatan (daya rekatnya) sebagai bahan pengikat. Kuat tekan semen diuji dengan cara membuat benda uji terdiri dari semen dan pasir silica dengan perbandingan tertentu dan dibuat kubus 5 x 5 x 5 cm. benda uji tersebut kemudian dilakukan perawatan (curing) dengan cara direndam dalam air. Setelah berumur 3, 7, 14 dan 28 hari benda uji diuji kuat tekannya.

f. Pengikatan awal palsu

Yaitu pengikatan awal semen yang terjadi kurang dari 60 menit, dimana setelah semen dicampur dengan air segera nampak adonan menjadi kaku. Setelah pengikatan awal palsu ini berakhir, adonan dapat diaduk kembali. Pengikatan ini sifatnya hanya mengacau saja dan tidak mempengaruhi sifat semen yang lain. Pengikatan awal palsu terjadi karena pengaruh gips yang terdapat pada semen tidak bekerja sebagaimana mestinya. Seharusnya fungsi gips pada semen adalah memperlambat pengikatan, tetapi karena gips yang terdapat dalam semen terurai maka gips ini justru mempercepat pengikatan awalnya.

g. Jenis-jenis semen portland

Adanya perbedaan persentase senyawa kimia semen akan menyebabkan perbedaan sifat semen. Kandungan senyawa yang ada pada semen akan membentuk karakter dan jenis semen. Dilihat dari susunan senyawanya, semen portland dibagi dalam 5 jenis, yaitu :

- 1) Semen Type I, semen yang dalam penggunaannya tidak secara khusus (pemakaian secara umum). Biasanya digunakan pada bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
- 2) Type II, mengandung kadar C3A < 8 %. Semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Semen ini digunakan untuk bangunan dan konstruksi beton yang selalu berhubungan dengan air kotor, air tanah atau untuk pondasi yang tertanam di dalam tanah yang garam sulfat dan saluran air limbah atau bangunan yang berhubungan langsung dengan air rawa.
- 3) Type III, memiliki kadar C3S dan C3A yang tinggi dan butirannya digiling sangat halus sehingga cepat mengalami proses hidrasi. Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase setelah pengikatan terjadi. Biasanya digunakan pada bangunan-bangunan di daerah yang bertemperatur rendah (musim dingin).
- 4) Type IV, kadar C3S maksimum 35 % dan C3A maksimum 5 %. Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah. Digunakan pada pekerjaan beton dalam volume besar (beton massa) dan masif, misalnya bendungan, pondasi berukuran besar dll.
- 5) Type V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Biasanya digunakan pada bangunan-bangunan yang selalu berhubungan dengan air laut, saluran limbah industri, bangunan yang terpengaruh oleh uap kimia dan gas agresif serta untuk pondasi yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat tinggi.

Komposisi kimia dari kelima type semen adalah seperti pada Tabel 7.3. di bawah ini (Nawy, 1985).

Tabel 7.3. Komposisi Kimia Semen Portland Menurut Jenisnya

Type Semen	Komposisi dalam %							Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
Tipe I, Normal	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	Semen untuk semua tujuan
Tipe II, Modifikasi	46	29	6	12	2,8	0,6	3	Relatif sedikit pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar
Tipe III, Kekuatan awal tinggi	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari
Tipe IV, panas hidrasi rendah	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	Dipakai pada bendungan beton
Tipe V, tahan sulfat	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	Dipakai pada saluran struktur yang diekspose terhadap sulfat

h. Syarat Mutu Semen Portland

Syarat mutu semen menurut SII.0013-81 (ASTM C-150)

Tabel 7.4. Syarat Kimia Semen Portland

URAIAN	Jenis Semen				
	I	II	III	IV	V
MgO, % maksimum	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
SO ₃ , % maksimum					
C ₃ A < 8,0%	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
C ₃ A > 8,0%	3,5	-	4,5	-	-
Hilang pijar, % maksimum	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Alkali sebagai Na ₂ O, % maksimum	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
C ₃ S, % maksimum	-	-	-	35	-
C ₂ S, % maksimum	-	-	-	40	-
C ₃ A, % maksimum	-	8	15	7	5
C ₃ AF+2C ₃ A atau C ₄ AF+C ₂ F, % maksimum	-	-	-	-	20
C ₃ S+C ₃ A, % maksimum	-	58	-	-	-

Tabel 7.5. Syarat Fisika Semen Portland

NO	URAIAN	Jenis Semen				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan :					
	Sisa di atas ayakan 0,075 mm, % maksimum dengan alat Blaine, mm ² /gr	10 2800	10 2800	10 3200	10 2800	10 2800
2	Waktu pengikatan dengan alat Vicat :					
	awal, menit, minimum	45	45	45	45	45
	Akhir, jam, maksimum	10	10	10	10	10
	Waktu pengikatan dengan alat Gillmore					
	awal, menit, minimum	60	60	60	60	60
	Akhir, jam, maksimum	10	10	10	10	10
3	Kekekalan, pemuaian dalam autoclave, maksimum	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
4	Kekuatan tekan					
	1 hari kg/cm ² , minimum	-	-	125	-	-
	1+2 hari kg/cm ² , minimum	125	100	250	-	85
	1+6 hari kg/cm ² , minimum	200	175	-	70	150
	1+27 hari kg/cm ² , minimum	-	-	-	175	210
5	pengikatan semu, penetrasi akhir, %, minimum	50	50	50	50	50
6	Panas hidrasi					
	7 hari, cl/g, maksimum	-	70	-	60	-
	28 hari, cl/g, maksimum	-	80	-	70	-
7	Pemuaian karena sulfat, 14 hari, % maksimum	-	-	-	-	0,45

RANGKUMAN

- *Bahan perekat hidrolis adalah bahan yang apabila dicampur dengan air akan membentuk pasta kemudian mengeras dan setelah mengeras tidak larut kembali dalam air. Perekat hidrolis yang biasa digunakan terdiri dari :gips hemihidrat, kapur padam, puzzolan dan semen portland.*
- *Gips merupakan jenis batuan endapan yang terbentuk secara kimiawi dari kapur dan sulfat yang larut dalam tanah membentuk calsium sulfat (CaSO_4). Gips alam yang dipanasi pada suhu di atas 100°C , maka sebagian air molekulnya terlepas dan membentuk $\text{CaSO}_4 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ yang biasa disebut gips hemihidrat yang berfungsi sebagai bahan perekat. Penggunaan Gips :Dalam bentuk gips alam, digunakan sebagai bahan baku pembuatan semen . Dalam bentuk gips hemihidrat, di bidang bangunan digunakan sebagai perekat untuk membuat papan gypsum yang dicampur dengan serat dan digunakan untuk plafond.*
- *Batu kapur kalsium (CaCO_3) mulai mengurai pada suhu 900°C dan batu kapur magnesium (MgCO_3) mulai mengurai pada suhu $700 - 770^\circ\text{C}$. Suhu dimana batu kapur mulai mengurai disebut dengan “**suhu keseimbangan/suhu desosiasi**”. Pemadaman kapur (slakking) bertujuan untuk merubah kapur tohor menjadi kapur hidroksida dengan cara mereaksikannya dengan air.*
- *Kapur dapat mengeras dan mempunyai kekuatan disebabkan oleh dua macam proses kimia yang terjadi yaitu : Kapur padam bereaksi dengan CO_2 dari udara dan membentuk karbonat, Kapur padam bereaksi dengan senyawa lain terutama silika dan membentuk kalsium silikat .*
- *Tras atau puzolan mengandung unsur silika, besi dan aluminium yang tidak mempunyai sifat penyemenan, tetapi dalam bentuk serbuk halus dan bila dicampur dengan air dapat bereaksi dengan kalsiumhidroksida (kapur) yang bersifat semen.*
- *Senyawa semen terdiri dari : Trikalsium silikat (C_3S), Dikalsium silikat (C_2S), Trikalsium aluminat (C_3A), Tetrakalsium alumino forit (C_4AF).*
- *Jenis-jenis semen : semen type I, II, III, IV dan V.*

SOAL-SOAL LATIHAN :

1. Jelaskan syarat-syarat agar gips dapat digunakan sebagai bahan perekat hidrolis !
2. Jelaskan sifat-sifat batu kapur yang dapat mempengaruhi proses pembakaran batu kapur !
3. Apa yang harus Anda perhatikan pada pemilihan jenis batu kapur yang berhubungan dengan proses pembakarannya !
4. Bagaimanakah sifat beton yang dihasilkan apabila adukan beton diberi bahan tambah puzolan ?
5. Jelaskan oksida-oksida yang dibutuhkan dan bahan baku untuk memperoleh oksida tersebut !
6. Jelaskan jenis-jenis senyawa yang tidak diinginkan pada semen dan pengaruhnya terhadap sifat-sifat semen !
7. Jelaskan pengaruh air terhadap sifat dan kekuatan semen !
8. Jelaskan sifat mekanik semen dan faktor apa yang mempengaruhinya ?
9. Jelaskan mengapa semen membutuhkan waktu perawatan/*curing* selama 28 hari ?
10. Bagaimana pengaruh senyawa-senyawa tersebut terhadap sifat-sifat semen !

BAB IV

AIR

Fungsi air di dalam adukan beton adalah untuk memicu proses kimiawi semen sebagai bahan perekat dan melumasi agregat agar mudah dikerjakan. Kualitas air yang digunakan untuk mencampur beton sangat berpengaruh terhadap kualitas beton itu sendiri. Air yang mengandung zat-zat kimia berbahaya, mengandung garam, minyak, dll akan menyebabkan kekuatan beton turun. Pada umumnya air yang dapat diminum dapat digunakan sebagai campuran beton.

Semen dapat berfungsi sebagai perekat apabila ada reaksi dengan air. Oleh karena itu jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi semen harus cukup. Apabila terlalu banyak air yang ditambahkan pada beton maka akibat adanya pengeringan maka air bebas yang terdapat di dalam gel akan cepat menguap sehingga gel menjadi porous, gel menyusut banyak dan terjadi retakan. Selain itu kekuatan gel juga rapuh yang mengakibatkan daya rekat semen rendah. Sebaliknya apabila jumlah air pencampur pada beton kurang maka proses hidrasi semen tidak dapat terjadi seluruhnya yang mengakibatkan kekuatan beton akan turun.

4.1. JENIS-JENIS AIR UNTUK CAMPURAN BETON

Pada umumnya air yang dapat diminum dapat digunakan sebagai air pengaduk pada beton. Adapun jenis-jenis air yang dapat digunakan untuk air pengaduk beton adalah :

- a. Air hujan, air hujan menyerap gas dan udara pada saat jatuh ke bumi. Biasanya air hujan mengandung unsur oksigen, nitrogen dan karbondioksida.
- b. Air Tanah. Biasanya mengandung unsur kation dan anion. Selain itu juga kadang-kadang terdapat unsur CO_2 , H_2S dan NH_3 .
- c. Air permukaan, terdiri dari air sungai, air danau, air genangan dan air reservoir. Air sungai atau danau dapat digunakan sebagai air pencampur

beton asal tidak tercemar limbah industri. Sedangkan air rawa atau air genangan yang mengandung zat-zat alkali tidak dapat digunakan.

- d. Air laut. Air laut mengandung 30.000 – 36.000 mg/liter garam (3 % - 3,6 %) dapat digunakan sebagai air pencampur beton tidak bertulang. Air laut yang mengandung garam di atas 3 % tidak boleh digunakan untuk campuran beton. Untuk beton pra tekan, air laut tidak diperbolehkan karena akan mempercepat korosi pada tulangnya.

4.2. SYARAT-SYARAT AIR DAN PENGARUHNYA UNTUK CAMPURAN BETON

Air yang digunakan untuk mencampur beton harus mempunyai syarat-syarat tertentu. Adapun syarat mutu air untuk adukan beton menurut British Standard (BS.3148-80) adalah sebagai berikut (Mulyono T, 2003) :

- a. *Garam-garam anorganik*. Ion-ion yang terdapat dalam air adalah kalsium, magnesium, natrium, kalium, bikarbonat, sulfat, klorida dan nitrat. Gabungan ion-ion tersebut yang terdapat dalam air maksimum 2000mg/liter. Garam-garam ini akan menghambat waktu pengikatan pada beton sehingga kuat tekannya turun. Selain itu garam-garam ini membuat beton bersifat higroskopis, sehingga beton selalu basah, beton menjadi bercak putih, ditumbuhi lumut dan tulangan menjadi elektrolit dan berkarat. Konsentrasi garam-garam ini pada air pencampur beton maksimum 500 ppm.
- b. *NaCl dan Sulfat*. Konsentrasi NaCl dalam air diijinkan maksimum 20000 ppm. Garam ini membuat beton bersifat higroskopis dan bila bereaksi dengan agregat yang mengandung alkali akan membuat beton mengembang. Pengaruh garam sulfat terhadap beton adalah membuat beton tidak awet.
- c. *Air asam*. Air yang mempunyai nilai asam tinggi ($PH > 3,0$) akan menyulitkan pekerjaan beton.
- d. *Air Basa*. Air dengan kandungan Natrium Hidroksida kurang dari 0,5 % dari berat semen tidak mempengaruhi kekuatan beton. Sebaliknya NaOH lebih dari 0,5 % dari berat semen akan menurunkan kekuatan beton.

- e. *Air gula*. Penambahan gula sebesar 0,25 % ke atas akan menyebabkan bertambahnya waktu ikat semen dan juga menurunkan kekuatan beton.
- f. *Minyak*. Air yang mengandung minyak tanah lebih dari 2 % menyebabkan kekuatan beton turun sebesar 20 %. Oleh karena itu air yang tercemar oleh minyak sebaiknya tidak digunakan untuk campuran beton.
- g. *Rumput laut*. Air yang tercampur dengan rumput laut mengakibatkan daya lekat semen berkurang dapat menimbulkan gelembung-gelembung udara pada beton. Akibatnya beton menjadi keropos dan akhirnya kekuatannya akan turun.
- h. *Zat-zat organik*, lanau dan bahan-bahan terapung. Air yang banyak mengandung zat organik biasanya keruh, berbau dan mengandung butir-butir lumut. Air ini dapat mengganggu proses hidrasi semen, apalagi bila agregat yang digunakan banyak mengandung alkali. Ini akan menyebabkan beton mengembang yang akhirnya retak. Air yang mengandung lumpur halus kurang dari 2000 ppm bila akan digunakan untuk beton harus diendapkan terlebih dahulu agar lumpur tidak mengganggu proses hidrasi semen.
- i. *Air limbah*. Air limbah biasanya mengandung senyawa organik sebanyak 400 ppm. Air ini dapat digunakan untuk campuran beton bila senyawa organik diencerkan/dinetralsir sampai air hanya mengandung senyawa organik sebesar maksimum 20 ppm.

Syarat-syarat air untuk adukan beton menurut ACI 318-83

- a. Air untuk beton harus bebas dari minyak, alkali, garam dan bahan-bahan organik.
- b. Air untuk beton pratekan atau yang dilekati alumunium, termasuk agregat tidak boleh mengandung ion clorida. Untuk mencegah korosi, kadar klorida setelah beton berumur 28 hari dibatasi sebagai berikut :

Bentuk konstruksi	Maksimum Clorida Ion thd berat semen
a. Beton pratekan	0,06 %
b. Beton bertulang yg berhub. Dg Cl dalam pemakaiannya	0,15 %
c. Beton bertulang di tempat yg selalu kering	1,0 %
d. Beton bertulang secara umum	0,3 %

RANGKUMAN :

- Fungsi air di dalam adukan beton adalah untuk memicu proses kimiawi semen sebagai bahan perekat dan melumasi agregat agar mudah dikerjakan.
- Jenis-jenis air yang dapat digunakan untuk air pengaduk beton adalah :Air hujan, Air Tanah, Air permukaan, Air laut yang mengandung 30.000 – 36.000 mg/liter garam (>3 %) dapat digunakan sebagai air pencampur beton tidak bertulang.
- Syarat-syarat air untuk adukan beton menurut ACI 318-83 adalah harus bebas dari minyak, alkali, garam dan bahn-bahan organik, tidak boleh mengandung ion clorida.

SOAL-SOAL LATIHAN

1. Jelaskan mengapa air yang mengandung garam chlorida dan sulfat tidak boleh digunakan untuk membuat adukan beton ?
2. Jelaskan syarat-syarat air yang dapat digunakan untuk membuat adukan !
3. Jelaskan sumber – sumber air yang dapat digunakan untuk membuat adukan beton.
4. Bila kualitas air yang digunakan untuk campuran beton meragukan, apa yang akan anda lakukan ?
5. Mengapa jumlah air pencampur pada beton jumlahnya dibatasi ?

BAB V

ADMIXTURE

Admixture adalah bahan/material selain air, semen dan agregat yang ditambahkan ke dalam beton atau mortar sebelum atau selama pengadukan. Admixture digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik beton. Tujuan penggunaan admixture pada beton segar adalah :

- Memperbaiki workability beton
- Mengatur factor air semen pada beton segar.
- Mengurangi penggunaan semen
- Mencegah terjadinya segregasi dan bleeding
- Mengatur waktu pengikatan aduk beton
- Meningkatkan kekuatan beton keras.
- Meningkatkan sifat kedap air pada beton keras.
- Meningkatkan sifat tahan lama pada beton keras termasuk tahan terhadap zat-zat kimia, tahan terhadap gesekan, dll.

5.1. JENIS-JENIS ADMIXTURE

Secara umum ada dua jenis bahan tambah yaitu bahan tambah yang berupa mineral (additive) dan bahan tambah kimiawi (chemical admixture). Bahan tambah admixture ditambahkan pada saat pengadukan atau pada saat pengecoran. Sedangkan bahan tambah additive ditambahkan pada saat pengadukan. Bahan tambah admixture biasanya dimaksudkan untuk mengubah perilaku beton pada saat pelaksanaan atau untuk meningkatkan kinerja beton pada saat pelaksanaan. Untuk bahan tambah additive lebih banyak bersifat penyemenan sehingga digunakan dengan tujuan perbaikan kinerja kekuatannya.

Menurut ASTM C.494, admixture dibedakan menjadi tujuh jenis, yaitu :

- 1) Tipe A : Water Reducing Admixture (WRA)

Bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi penggunaan air pengaduk untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Dengan menggunakan jenis bahan tambah ini akan dapat dicapai tiga hal, yaitu :

- Hanya menambah/meningkatkan workability. Dengan menambahkan WRA ke dalam beton maka dengan fas (kadar air dan semen) yang sama akan didapatkan beton dengan nilai slump yang lebih tinggi. Dengan slump yang lebih tinggi, maka beton segar akan lebih mudah dituang, diaduk dan dipadatkan. Karena jumlah semen dan air tidak dikurangi dan workability meningkat maka akan diperoleh kekuatan tekan beton keras yang lebih besar dibandingkan beton tanpa WRA.
- Menambah kekuatan tekan beton. Dengan mengurangi/memperkecil fas (jumlah air dikurangi, jumlah semen tetap) dan menambahkan WRA pada beton segar akan diperoleh beton dengan kekuatan yang lebih tinggi. Dari beberapa hasil penelitian ternyata dengan fas yang lebih rendah tetapi workability tinggi maka kuat tekan beton meningkat.
- Mengurangi biaya (ekonomis). Dengan menambahkan WRA dan mengurangi jumlah semen serta air, maka akan diperoleh beton yang memiliki workability sama dengan beton tanpa WRA dan kekuatan tekannya juga sama dengan beton tanpa WRA. Dengan demikian beton lebih ekonomis karena dengan kekuatan yang sama dibutuhkan jumlah semen yang lebih sedikit.

2) Tipe B : Retarding Admixture

Bahan tambah yang berfungsi untuk memperlambat proses waktu pengikatan beton. Biasanya digunakan pada saat kondisi cuaca panas, memperpanjang waktu untuk pematatan, pengangkutan dan pengecoran.

3) Tipe C : Accelerating Admixtures

Jenis bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat proses pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk memperpendek waktu pengikatan semen sehingga mempercepat pencapaian kekuatan beton. Yang termasuk jenis accelerator adalah : kalsium klorida, bromide, karbonat dan silikat. Pda daerah-daerah yang menyebabkan korosi

tinggi tidak dianjurkan menggunakan accelerator jenis kalsium klorida. Dosis maksimum yang dapat ditambahkan pada beton adalah sebesar 2 % dari berat semen.

4) Tipe D : Water Reducing and Retarding Admixture

Jenis bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi jumlah air pengaduk yang diperlukan pada beton tetapi tetap memperoleh adukan dengan konsistensi tertentu sekaligus memperlambat proses pengikatan awal dan pengerasan beton. Dengan menambahkan bahan ini ke dalam beton, maka jumlah semen dapat dikurangi sebanding dengan jumlah air yang dikurangi. Bahan ini berbentuk cair sehingga dalam perencanaan jumlah air pengaduk beton, maka berat admixture ini harus ditambahkan sebagai berat air total pada beton.

5) Tipe E : Water Reducing and Accelerating Admixture

Jenis bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi jumlah air pengaduk yang diperlukan pada beton tetapi tetap memperoleh adukan dengan konsistensi tertentu sekaligus mempercepat proses pengikatan awal dan pengerasan beton. Beton yang ditambah dengan bahan tambah jenis ini akan dihasilkan beton dengan waktu pengikatan yang cepat serta kadar air yang rendah tetapi tetap workable. Dengan menggunakan bahan ini diinginkan beton yang mempunyai kuat tekan tinggi dengan waktu pengikatan yang lebih cepat (beton mempunyai kekuatan awal yang tinggi).

6) Tipe F : Water Reducing, High Range Admixture

Jenis bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12 % atau lebih. Dengan menambahkan bahan ini ke dalam beton, diinginkan untuk mengurangi jumlah air pengaduk dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan tinggi dengan jumlah air sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan (workability beton) juga lebih tinggi. Bahan tambah jenis ini berupa *superplasticizer*. Yang termasuk jenis superplasticizer adalah : kondensi sulfonat melamine formaldehyde dengan kandungan klorida sebesar 0,005 %, sulfonat naphthalin

formaldehide, modifikasi lignosulphonat tanpa kandungan klorida. Jenis bahan ini dapat mengurangi jumlah air pada campuran beton dan meningkatkan slump beton sampai 208 mm. Dosis yang dianjurkan adalah 1 % - 2 % dari berat semen.

7) Tipe G : Water Reducing, High Range Retarding admixtures

Jenis bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12 % atau lebih sekaligus menghambat pengikatan dan pengerasan beton. Bahan ini merupakan gabungan superplasticizer dengan memperlambat waktu ikat beton. Digunakan apabila pekerjaan sempit karena keterbatasan sumberdaya dan ruang kerja.

Jenis-jenis bahan tambah mineral (Additive)

Jenis bahan tambah mineral (additive) yang ditambahkan pada beton dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja kuat tekan beton dan lebih bersifat penyemenan. Beton yang kekuarangan butiran halus dalam agregat menjadi tidak kohesif dan mudah bleeding. Untuk mengatasi kondisi ini biasanya ditambahkan bahan tambah additive yang berbentuk butiran padat yang halus. Penambahan additive biasanya dilakukan pada beton kurus, dimana betonnya kekurangan agregat halus dan beton dengan kadar semen yang biasa tetapi perlu dipompa pada jarak yang jauh. Yang termasuk jenis additive adalah : puzzollan, fly ash, slag dan silica fume.

Adapun keuntungan penggunaan additive adalah (Mulyono T, 2003) :

- Memperbaiki workability beton
- Mengurangi panas hidrasi
- Mengurangi biaya pekerjaan beton
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat
- Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika
- Menambah keawetan (durabilitas) beton
- Meningkatkan kuat tekan beton
- Meningkatkan usia pakai beton
- Mengurangi penyusutan

- Membuat beton lebih kedap air (porositas dan daya serap air pada beton rendah)

Jenis bahan tambah lain yang biasa digunakan adalah bahan pembentuk gelembung udara (Air Entraining Agent/AEA). Ada dua jenis AEA, yaitu jenis detergent dan bukan detergent.

a) Jenis detergent

AEA pada umumnya adalah dari jenis detergent, yaitu zat aktif terhadap permukaan. Zat ini biasanya berupa zat organik sebagai bahan baku sabun, sehingga bila diaduk dengan air akan menjadi busa dan busa ini akan tersebar di dalam adukan beton. Gelembung-gelembung ini berada diantara butiran semen dan agregat yang berfungsi sebagai bola pelincir sehingga adukan beton menjadi lebih mudah diaduk. Penambahan AEA membuat beton mempunyai sifat penyusutan yang kecil dan membuat beton lebih kedap air. Bahan yang biasa digunakan untuk membuat AEA adalah damar vinsol yang merupakan senyawa asam abiet (abietic acid) atau biasa disebut dengan soda api.

b) Jenis bukan detergent

Jenis ini biasanya berupa bubuk aluminium halus. Bubuk ini apabila bercampur dengan air pada beton akan bereaksi membentuk gelembung udara gas hidrogen. Biasanya digunakan juga bahan stabilisator (Natrium Stearat) agar gelembungnya dapat tersebar merata dan stabil.

5.2. PEMAKAIAN ADMIXTURE DALAM BETON

Admixture atau bahan tambah untuk beton digunakan dengan tujuan untuk memperbaiki atau menambah sifat beton tersebut menjadi lebih baik. Jadi sifatnya hanya sebagai bahan penolong saja. Jadi admixture sendiri bukan zat yang dapat membuat beton yang buruk menjadi baik.

Ada beberapa pertimbangan di dalam pemakaian admixture pada beton, yaitu (Samekto W, et.al, 2001):

- Jangan menggunakan admixture bila tidak tahu tujuannya.
- Admixture tidak akan membuat beton buruk menjadi beton baik

- Suatu admixture dapat merubah lebih dari satu sifat adukan beton
- Pengawasan terhadap bahan ini sangat penting, termasuk pengawasan atas pengaruhnya pada beton.

RANGKUMAN

- *Admixture adalah bahan/material selain air, semen dan agregat yang ditambahkan ke dalam beton atau mortar sebelum atau selama pengadukan yang digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik beton.*
- *Jenis-jenis admixture menurut ASTM adalah : Tipe A Water Reducing Admixture (WRA), Tipe B Retarding Admixture, Tipe C Accelerating Admixtures, Tipe D Water Reducing and Retarding Admixture, Tipe E Water Reducing and Accelerating Admixture, Tipe F Water Reducing, High Range Admixture, Tipe G Water Reducing, High Range Retarding admixtures.*
- *additive yang ditambahkan pada beton dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja kuat tekan beton dan lebih bersifat penyemenan. Yang termasuk jenis additive adalah : puzzolan, fly ash, slag dan silica fume.*

SOAL-SOAL LATIHAN :

1. Sebutkan jenis-jenis admixture menurut ASTM !
2. Jelaskan alasannya mengapa admixture digunakan pada pembuatan adukan beton !
3. Dengan menambahkan Water Reducing Agent pada beton segar, akan diperoleh 3 keuntungan . Jelaskan masing-masing keuntungan tersebut !
4. Bagaimana cara mengatasi bleeding dan segregasi pada beton segar, hubungkan dengan pemakaian bahan tambah ?
5. Jelaskan fungsi AEA pada beton segar !

BAB VI

LOGAM

Baja banyak di gunakan dalam pembuatan struktur atau rangka bangunan dalam bentuk baja profil, baja tulangan beton biasa, anyaman kawat, atau pada akhir-akhir ini di pakai juga dalam bentuk kawat potongan yang disebut “fibre” atau metal fibre, sebagai tulangan beton. Dalam skala yang lebih kecil logam secara luas juga di pakai sebagai penguat, misalnya bentuk paku, sekrup, baut, kawat, pelat, bantalan jembatan, atau sebagai bahan lain bentuk lembaran (misalnya bentuk atap, atau lantai jembatan), atau juga bentuk dekorasi.

Kelebihan logam sebagai bahan konstruksi adalah memiliki sifat yang di suatu pihak lebih baik karena ia : memiliki kuat tarik tinggi, dapat di rubah – rubah bentuknya, mudah di sambung / di las. Sifat lainnya adalah : memiliki harga konduktivitas listrik yang tinggi, konduktivitas panas tinggi dan dapat di haluskan sehingga berkilau permukaanya. Kelemahan sebagian besar logam, khususnya baja, ialah tidak tahan korosi karena kelembapan maupun oleh pengaruh udara sekeliling dan terjadi perubahan bentuk bila terkena suhu/panas tinggi.

Di dalam pemakaian, logam selain juga memiliki kuat tarik yang tinggi, tahan tekanan atau korosi, kadang-kadang juga harus tahan terhadap beban kejut, suhu rendah, gaya yang berubah-ubah atau kombinasi, dan beberapa keadaan yang lain. Pada umumnya, logam dapat di bagi menjadi 2(dua) kelompok besar yaitu :logam besi (ferrous metal) , dan logam bukan besi (non ferrous metal). Logam besi : suatu logam yang elemen pembentuk utamanya adalah besi (fe). Misalnya : besi tuang, besi tempa, baja. Logam bukan besi : logam yang elemen utamanya bukan besi . Misalnya : alumunium, tembaga, timah putih, emas, dll.

6.1. PRODUKSI LOGAM

Secara umum menurut cara yang di lakukan pada waktu ini , ada 4 (empat) tahap pengerjaan untuk menghasilkan sebagian besar jenis logam yaitu :

- penggalian bijih logam

- penyiapan bijih, untuk diambil logam dari bijih.
 - Ekstraksi atau mengeluarkan / memisahkan logam dari bijih.
 - Pemurnian dan pengolahan logam.
- a. Pada penggalian bijih, umumnya ada dua cara yaitu: Penambangan terbuka dan Penambangan tertutup / penambangan di bawah permukaan tanah.
 - b. Pada proses penyiapan bijih besi/logam, bijih dihancurkan, sebagian kotoran yang terdapat pada bijih dibuang dengan menggunakan cara pemisahan memakai alat-alat berat . Penyiapan bijih juga mencakup proses pembakaran atau kalsinasi, misalnya pada bijih yang mengandung senyawa sulfide, pembakaran untuk menghilangkan belerang dari bijih besi yang mengandung senyawa karbonat.
 - c. Pemisahan dilakukan dengan ekstraksi, yaitu dengan melalui proses proses kimia sehingga diperoleh logamnya. Proses ekstraksi ada 2 macam, yaitu :
 1. Proses Pirometalurgy. Bijih dipanaskan di dalam tungku tiup (blast furnace) atau tungku gema sehingga meleleh, kemudian dilakukan pemisahan untuk mendapatkan logam dari lelehan tersebut.
 2. Proses Elektrometalurgy. Bijih dipisahkan logamnya dengan cara meleburnya di dalam tungku listrik atau dengan proses elektrolistrik.
 - d. Pemurnian dan pengolahan logam. Logam hasil ekstraksi umumnya masih mengandung benda atau elemen lain, sehingga perlu dilakukan pemisahan lebih lanjut. Proses pemurnian dan pengolahan dilakukan dengan cara oksidasi dengan proses panas dalam tungku, pencairan, destilasi (seng), elektrolisa (tembaga) atau dengan memakai bahan pengikat kimia (menambah Mn ke dalam baja cair).

Proses Pembuatan Baja

- Baja merupakan paduan antara besi dengan elemen lain sehingga dicapai sifat-sifat yang diinginkan. Yang dimaksud dengan paduan adalah larutan padat yang homogen antara besi dengan elemen-elemen lain yang dibutuhkan.

- Baja dapat diolah dan dibentuk secara mekanis menjadi pelat, pipa, batangan, profil, dll.
- Proses pembuatan baja dapat dilakukan dengan cara :
 - a. Proses Bessemer
 - b. Proses Thomas
 - c. Proses Martin.
- Perbandingan/perbedaan antara proses Martin dan Bessemer adalah :
 - a. Proses Bessemer:
 - Harus diambil dari besi kasar yang lebih murni, terutama yang tidak terlalu tinggi fosfornya.
 - Baja yang dihasilkan mengandung Kadar fosfor rendah.
 - Baja mengandung sedikit oksigen.
 - Tidak ada proses tiupan tambahan.
 - b. Proses Thomas

Keuntungan :

 - Besi kasar yang kurang bersih dapat dikerjakan.
 - Fosfor dapat dihilangkan, tapi bila ada hanya sebagian fosfor yang dalam prakteknya tidak menimbulkan gangguan.
 - Menghasilkan produk tambahan berupa pupuk.
 - Prosesnya lebih mudah dibandingkan dengan proses Bessemer.

Kerugian :

 - Baja mengandung lebih banyak oksigen
 - Besi yang hilang lebih banyak dibandingkan proses Bessemer (11 – 13 %).

6.2. LOGAM PADUAN

Baja merupakan besi dengan kadar karbon kurang dari 2 %. Baja dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk sesuai dengan keperluan. Secara garis besar ada 2 jenis baja, yaitu :

- a. Baja karbon
- b. Baja Paduan

a. Baja Karbon

Baja karbon disebut juga plain karbon steel, mengandung terutama unsure karbon dan sedikit silicon, belerang dan pospor. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dibagi menjadi :

- baja dengan kadar karbon rendah ($< 0,2 \% C$)
- Baja dengan kadar karbon sedang ($0,1\%-0,5 \% C$)
- Baja dengan kadar karbon tinggi ($>0,5 \% C$)

Kadar karbon yang terdapat di dalam baja akan mempengaruhi kuat tarik, kekerasan dan keuletan baja. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka kuat tarik dan kekerasan baja semakin meningkat tetapi keuletannya cenderung turun.

Penggunaan baja di bidang teknik sipil pada umumnya berupa baja konstruksi atau baja profil, baja tulangan untuk beton dengan kadar karbon $0,10\% - 0,50\%$. Selain itu baja karbon juga digunakan untuk baja/kawat pra tekan dengan kadar karbon s/d $0,90\%$. Pada bidang teknik sipil sifat yang paling penting adalah kuat tarik dari baja itu sendiri.

b. Baja Paduan

Baja dikatakan di padu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus , bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsure silisium dan mangan. Baja paduan semakin banyak di gunakan. Unsur yang paling banyak di gunakan untuk baja paduan , yaitu : Cr, Mn, Si, Ni, W, Mo, Ti, Al, Cu, Nb, Zr.

6.3. KLASIFIKASI BAJA

Baja paduan dapat di klasifikasikan sesuai dengan :

- Komposisi
- Struktur
- Penggunaan

Komposisi

Berdasarkan komposisi baja paduan di bagi menjadi :

- Baja tiga komponen : terdiri satu unsure pemandu dalam penambahan Fe dan C.
- Baja empat komponen : terdiri dari dua unsure pemandu dst.

Struktur

Baja di klasifikasikan berdasarkan :

- Baja pearlit
- Baja martensit
- Baja austenit
- Baja ferrit
- Baja karbit / ledeburit

Baja pearlit (sorbit dan trostit), di dapat jika unsur-unsur paduan relative kecil maximum 5 %, baja ini mampu di mesin, sifat mekaniknya meningkat oleh heat treatment (hardening & tempering)

Baja martensit, unsure pemandunya lebih dari 5 % sangat keras dan sukar di mesin. Baja austenit, terdiri dari 10 – 30 % unsure paduan tertentu (Mn, Ni, atau Co) misalnya : baja tahan karat (stainless steel), non magnetic dan baja tahan panas (heat resistant steel). Baja ferrit, terdiri dari sejumlah besar unsure paduan (Cr, W atau Si) tetapi karbonnya rendah. Tidak dapat di keraskan. Baja karbit (ledeburit), terdiri sejumlah karbon dan unsure- unsur pembentuk karbit (Cr, W, Mn, Ti, Zr)

Penggunaan

Berdasarkan penggunaan dan sifat-sifatnya, baja paduan diklasifikasikan :

- Baja konstruksi (structural steel)
- Baja perkakas (tool steel)
- Baja dengan sifat fisik khusus

Baja konstruksi, di bedakan lagi menjadi tiga golongan tergantung persentase unsure padunya, yaitu :

- Baja paduan rendah (maximum 2 %)
- Baja paduan menengah (2 – 5 %)

- Baja paduan tinggi (lebih dari 5 %)

Setelah di heat treatment baja jenis ini sifat – sifat mekaniknya lebih baik dari baja karbon biasa. Baja perkakas, di pakai untuk alat pemotong, komposisinya tergantung bahan dan tebal benda yang di potong / di sayat pada kecepatan potong, suhu kerja. Baja paduan rendah, kekerasannya tidak berubah hingga pada suhu 250 c. Baja paduan tinggi, kekerasannya tidak berubah hingga pada suhu 600 c. Baja dengan sifat – sifat fisik khusus, dapat di bedakan sebagai berikut :

- Baja tahan karat : 0,1 – 0,45 % C ; 12 – 14 % Cr.
- Baja tahan panas : 12 – 14 % Cr tahan hingga suhu 750 – 800 c
15 – 17 % Cr tahan hingga suhu 850 – 1000 c
- Baja tahan pakai pada suhu tinggi .
23 % Cr, 18 – 21 % Ni, 2 – 3 % Si
13 % - 15 % Cr, 13 – 15 % Ni
2 % - 5 % W, 0,25 – 0,4 % Mo, 0,4 – 0,5 % C

6.4. SIFAT-SIFAT FISIK DAN MEKANIS BAJA

Sifat baja pada umumnya terdiri dari sifat fisik dan sifat mekanis. Sifat fisik meliputi : berat, berat jenis, daya hantar panas dan konduktivitas listrik. Baja dapat berubah sifatnya karena adanya pengaruh beban dan panas.

Sifat mekanis

Sifat mekanis suatu bahan adalah kemampuan bahan tersebut memberikan perlawanan apabila diberikan beban pada bahan tersebut. Atau dapat dikatakan sifat mekanis adalah kekuatan bahan didalam memikul beban yang berasal dari luar. Sifat mekanis pada baja meliputi :

- Kekuatan.** Sifat penting pada baja adalah kuat tarik. Pada saat baja diberi beban, maka baja akan cenderung mengalami deformasi/perubahan bentuk. Perubahan bentuk ini akan menimbulkan regangan/strain, yaitu sebesar terjadinya deformasi tiap satuan panjangnya ($\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$). Akibat regangan

tersebut, didalam baja terjadi tegangan/stress sebesar, $\sigma = \frac{P}{A}$, dimana P = beban yang membebani baja, A = luas penampang baja. Pada waktu baja diberi beban, maka terjadi regangan. Pada waktu terjadi regangan awal, dimana baja belum sampai berubah bentuknya dan bila beban yang menyebabkan regangan tadi dilepas, maka baja akan kembali ke bentuk semula. Regangan ini disebut dengan regangan elastis karena sifat bahan masih elastis. Perbandingan antara tegangan dengan regangan dalam keadaan elastis disebut dengan “*Modulus Elastisitas/Modulus Young*” ($E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$). Ada 3

jenis tegangan yang terjadi pada baja, yaitu :

- tegangan , dimana baja masih dalam keadaan elastis
- tegangan leleh, dimana baja mulai rusak/leleh
- tegangan plastis, tegangan maksimum baja, dimana baja mencapai kekuatan maksimum.

- b. **Keuletan (*ductility*)**, Kemampuan baja untuk berdeformasi sebelum baja putus. Keuletan ini berhubungan dengan besarnya regangan/strain yang permanen sebelum baja putus. Keuletan ini juga berhubungan dengan sifat dapat dikerjakan pada baja. Cara ujinya berupa uji tarik.
- c. **Kekerasan**, adalah ketahanan baja terhadap besarnya gaya yang dapat menembus permukaan baja. Cara ujinya dengan kekerasan Brinell, Rockwell, ultrasonic, dll
- d. **Ketangguhan (*toughness*)**, adalah hubungan antara jumlah energi yang dapat diserap oleh baja sampai baja tersebut putus. Semakin kecil energi yang diserap oleh baja, maka baja tersebut makin rapuh dan makin kecil ketangguhannya. Cara ujinya dengan cara memeberi pukulan mendadak (*impact/pukul takik*).

RANGKUMAN :

- *Kelebihan logam sebagai bahan konstruksi adalah memiliki kuat tarik tinggi, dapat di rubah – rubah bentuknya, mudah di sambung / di las.*
- *Empat tahap pengerjaan untuk menghasilkan logam yaitu : penggalan bijih logam, penyiapan bijih, untuk diambil logam dari bijih, Ekstraksi atau mengeluarkan / memisahkan logam dari bijih, Pemurnian dan pengolahan logam.*
- *Kadar karbon yang terdapat di dalam baja akan mempengaruhi kuat tarik, kekerasan dan keuletan baja. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka kuat tarik dan kekerasan baja semakin meningkat tetapi keuletannya cenderung turun. Penggunaan baja di bidang teknik sipil pada umumnya berupa baja konstruksi atau baja profil, baja tulangan untuk beton dengan kadar karbon 0,10% - 0,50 %. Selain itu baja karbon juga digunakan untuk baja/kawat paku tekan dengan kadar karbon s/d 0,90 %.*
- *Sifat fisik baja meliputi : berat, berat jenis, daya hantar panas dan konduktivitas listrik.*
- *Sifat mekanis pada baja meliputi : Kekuatan, Keuletan (ductility), Kekerasan, Ketangguhan (toughness).*

SOAL-SOAL LATIHAN :

1. Jelaskan proses pembuatan baja !
2. Jelaskan perbedaan antara proses Bessemer dan proses Thomas !
3. Jelaskan pengaruh kadar karbon terhadap sifat-sifat baja !
4. Jelaskan Sifat-sifat fisik baja yang digunakan sebagai bahan konstruksi !
5. Jelaskan sifat-sifat mekanis baja terutama baja konstruksi !
6. Mengapa pada baja tulangan mutlak harus dilakukan pengujian tarik ?

BAB VII

KERAMIK BANGUNAN

Pemakaian benda-benda keramik sudah dimulai sejak 10.000 tahun yang lalu. Hasil penggalian barang kuno di Mesir, terdapat keramik yang dibuat 5000 tahun sebelum Masehi, dan penggunaan bata merah sudah sejak 3000 tahun sebelum Masehi.

Perkembangan keramik di Eropa dimulai pada masa kejayaan Romawi Yunani, dan mulai berkembang pesat pada abad 18. Keramik yang terkenal berasal dari Tiongkok sejak 2600 tahun sebelum Masehi. Keramik dari daerah ini terkenal di seluruh dunia karena terbuat dari sejenis tanah putih yang dapat dibakar porselen. Tanah ini disebut dengan tanah *Kaolin*.

Dengan berkembangnya teknologi, pada abad terakhir ini, pemakaian bahan keramik tidak hanya terbatas pada bahan bangunan dan alat rumah tangga, tetapi sudah meningkat pada keramik untuk bidang teknik, antara lain keramik untuk teknik listrik dan teknik suhu tinggi seperti isolator listrik, busi kendaraan, transistor dan kapasitor, bata tahan api, ceramic metal, fibre optic, silicon, dll.

Untuk di Indonesia, perkembangan industri keramik berjalan lambat. Bata merah sudah digunakan sejak jaman Majapahit dan Sriwijaya. Sampai awal abad 20, industri keramik yang dominan di Indonesia adalah industri bata dan genteng, ubin merah, alat-alat sanitair dan pipa tanah. Sedangkan pada bidang keramik halus adalah grabah alat rumah tangga, pot atau vas bunga, isolator listrik tegangan rendah dan bata tahan api bata samot. Untuk keramik teknik, Indonesia masih mengimpor dari Negara lain, terutama dari Amerika misalnya untuk isolator listrik tegangan menengah dan tinggi, keramik listrik lainnya serta bata tahan api. Kesulitan yang dihadapi bagi perkembangan keramik halus dan keramik teknik di Indonesia adalah belum adanya industri pengolahan bahan baku dari alam yang dijadikan bahan mentah siap pakai.

Ditinjau dari kata *keramik* yang berasal dari kata bahasa Yunani *keramos* yang berarti *bahan yang dibakar*, maka yang disebut produk keramik adalah mencakup macam-macam produk yang dibuat melalui proses pembakaran.

7.1. BAHAN BAKU KERAMIK

Bahan baku keramik berupa oksida-oksida mineral yang terdapat di alam berupa batuan maupun pelapukan dari batuan. Jenis oksida tersebut adalah : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O dan Na_2O . Oksida-oksida ini banyak terdapat pada tanah liat (lempung), yang terdapat dalam bentuk batuan adalah feldspar, kwarsa dan batu kapur.

Bahan baku keramik yang banyak digunakan adalah :

(1) Tanah Liat/lempung

Tanah liat merupakan jenis tanah hasil penguraian batuan alam terutama batuan feldspar yang mengandung alumina silikat hidrat. Jenis tanah ini bersifat plastis bila basah dan akan mengeras/membatu bila dipanasi pada suhu tinggi. Lempung terdiri dari butiran-butiran halus yang mengandung bermacam-macam mineral sehingga pada umumnya lempung tidak mempunyai susunan kimia tertentu.

Jenis-jenis tanah liat menurut susunan mineralnya :

a. Lempung Kaolinit

Susunan kimianya adalah $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ disebut juga mineral kaolin. Lempung ini berwarna putih bila kadar besinya rendah.

b. Lempung Monmorilonit.

Berwarna kelabu sampai hijau, bila basah bersifat sangat plastis dan mudah mengembang, bila kering keras dan mudah hancur. Karena sifatnya yang mudah mengembang, serta sifat susut kering yang tinggi maka lempung jenis ini, dalam bidang keramik jarang dipakai.

c. Lempung Illit

Lempung ini mengandung illit yaitu sejenis kristal hidromika yang mempunyai sifat susut muainya rendah.

d. Lempung klorit

Bentuk kristalnya monokolin, warna khas hijau dan berkilap kaca hingga pudar seperti tanah. Bersifat susut bakar rendah sehingga baik untuk bahan keramik.

Jenis Lempung menurut cara terbentuknya adalah :

a. Lempung Primer

Lempung primer disebut lempung residu, merupakan lempung yang terdapat di sekitar batuan induknya yang lapuk. Lempung ini tidak tercampur dengan bahan lain. Sebagai contoh misalnya, lapuknya fiespar akan membentuk kaolin yang bercampur silika. Lempung kaolin ini bersifat baik sebagai keramik putih.

b. Lempung endapan ataupun lempung sekunder.

Lempung ini berasal dari lempung lapukan batuan induk, kemudian terbawa arus air, angin atau es sehingga jauh dari batuan asalnya kemudian mengendap di suatu tempat. Jenis lempung ini antara lain : lempung alluvial (lempung yg mengendap sepanjang aliran sungai, rawa atau cekungan di darat), Lempung estuarin (lempung yang mengendap di muara sungai), Lempung lakustrin (lempung danau atau rawa), Lempung marine (lempung yang mengendap di laut), Lempung glacial (lempung yang terbawa angin atau aliran es).

(2) Felspar

Felspar merupakan jenis batuan yang tidak terlalu keras, tersusun dari mineral alumina silikat. Ada dua jenis yaitu fiespar kalium (mengandung K_2O) disebut orthoclase feldspar dan felspar natrium (mengandung Na_2O) disebut plagioclase felspar. Felspar di industri keramik dipakai sebagai sebagai bahan pelebur (merendahkan suhu leleh), glasir, gelas atau kaca.

(3) Kwarsa

Berbentuk batuan keras atau pasir. Pemakaian dalam industri keramik yaitu :

- campuran dalam pembuatan keramik putih dan keramik halus.
- Campuran pembuatan glasir dan email.

- Bahan dasar pembuatan gelas atau kaca.
- Bahan dasar pembuatan batu tahan api jenis silika.

Batu pasir kwarsa yang berkadar kwarsa tinggi dapat dipakai sebagai bata silika alam untuk bata tahan api.

(4) Batu Kapur

Dalam industri keramik digunakan sebagai bahan campuran.

Sifat-sifat bahan mentah

Sifat bahan mentah keramik yang diperlukan adalah sifat fisik dan sifat kimianya, tetapi yang lebih dominan adalah sifat fisiknya. Sifat fisik yang menonjol untuk industri keramik adalah : Susunan butiran. Susunan butiran bahan, akan mempengaruhi sifat fisik lainnya, misalnya keplastisan, susut kering, susut bakar, titik lebur, kekuatan masa keramik dan daya serap air. Suatu jenis lempung yang sama bila susunan butirnya berbeda maka pemakaian untuk pembuatan produk keramik juga berbeda.

Sifat kimia dari bahan mentah juga harus diketahui karena erat hubungannya dengan susunan mineral yang dikandung serta produk yang dituju. Susunan kimia bahan berhubungan dengan sifat susut, titik lebur, kelakuan selama pembakaran serta sifat ketahanan kimia dari produk akhir.

7.2. PROSES PEMBUATAN KERAMIK BANGUNAN

1. *Penyiapan bahan mentah*, meliputi : penggalian bahan mentah, penimbunan dan penggilingan.

- Penggalian bahan mentah, bahan mentah yang digunakan untuk keramik pada umumnya adalah lempung/tanah liat. Sebagian besar lempung merupakan bentuk endapan yang terletak di permukaan bumi sehingga penggaliannya dilakukan dengan cara terbuka.
- Penimbunan, bahan mentah hasil galian sebaiknya ditimbun dahulu. Selama dalam penimbunan, lempung ini diberikan air, jika perlu direndam dalam air. Hal ini perlu dilakukan agar partikel-partikel yang semula di bawah dan kurang menyerap air menjadi lebih lapuk dan menyerap air.

Selain itu juga untuk melarutkan garam sulfat yang merugikan. Pada saat penimbunan ini, biasanya juga dilakukan pencampuran dengan bahan lain, misalnya pasir.

- c. Penggilingan, Untuk lempung yang berbentuk bongkahan yang keras, sebelum ditimbun digiling terlebih dahulu. Penggilingan dilakukan dengan menggunakan *kollegrang* yang dasarnya berlubang-lubang untuk mendapatkan susunan besar butir yang lebih homogen. Selama digiling didalam alat ini, bahan yang sudah menjadi tepung ditambah dengan air sambil digiling, sehingga keluar dari kollegrang, bahan sudah berbentuk lempung basah. Untuk mendapatkan lempung yang lebih homogen, dilakukan penggilingan lagi di *pugmill* (mixer). Selesai dari pugmill, bahan diolah lagi di dalam *extruder*. Di dalam alat ini lempung diaduk dan ditekan, sehingga dihasilkan lempung yang benar-benar padat berbentuk kolom segi empat atau bulat.

2. Pembentukan Produk Keramik

Proses pembentukan produk keramik sangat menentukan sifat fisik suatu produk keramik. Cara pembentukan keramik tergantung pada : tujuan pemakaian, sifat bentuknya dan bahan dasarnya. Ada empat cara pembentukan produk keramik, yaitu :

- a. Cara pembentukan dengan proses lempung lembek (*soft mud process*). Cara ini biasanya digunakan untuk membentuk produk keramik yang pembentukannya dikehendaki dengan lembek sehingga dapat dilakukan pembentukan dengan tangan. Cara ini biasanya dipakai untuk benda-benda khusus yang tidak dapat dikerjakan dengan alat lain, misalnya untuk produk keramik halus yang cara pembentukannya dengan proses putar. Di dalam proses ini, lempung bersifat lembek dengan kandungan air 25 – 40 %, dengan syarat lempung masih cukup kuat menahan beratnya sendiri sehingga tidak terjadi perubahan bentuk.
- b. Cara pembuatan dengan proses lempung kaku (*Stiff mud*). Masa yang dipakai berupa lempung kaku yang cukup berat bila dicetak/dibentuk dengan tangan..

Kadar air lempung kaku dalam cara ini kurang lebih 15 – 30 %. Biasanya cara ini memerlukan alat pembentuk ekstruder sehingga dari alat ini dikeluarkan suatu kolom tanah yang kaku. Kemudian kolom tanah ini dibentuk/dipotong, lalu dibentuk kembali menjadi produk tertentu. Cara ini biasanya dipakai dalam pembuatan produk keramik berat dan keramik banhan bangunan, misalnya genteng keramik, bata merah, bata berlubang, pipa tanah dan bentuk produk keramik kasar lainnya.

- c. Cara Pembentukan dengan *masa slip*. Cara ini dipakai bila lempung yang akan dicetak disiapkan dalam bentuk bubur yang halus sekali dan berbentuk lumpur cair. Biasanya lempung terdiri dari susunan butiran yang halus sekali. Kandungan air dalam lempung ini 12 – 50 %. Cara ini biasanya dilakukan dengan membuat cetakan dari gips yang telah dibakar dan dengan cara mencetak tersebut dapat dibuat produk yang sama. Selain itu, juga memungkinkan untuk membentuk benda-benda yang sulit dibentuk dengan cara tangan atau mesin. Cara pembuatan ini biasanya digunakan untuk membuat produk sanitair (closet, wastafel, dll).
- d. Cara Pembentukan dengan proses kering. Dalam cara ini dipakai lempung/masa campuran yang berkadar air rendah 4 – 12 %, sehingga masa tadi lembab. Cara membentuknya biasanya dengan alat kempa (press) yang bertekanan tinggi untuk mendapatkan produk yang mempunyai kepadatan tinggi pula. Cara ini umumnya dipakai untuk membuat produk keramik yang mempunyai kepadatan tinggi tetapi hasil bakarannya tidak sampai meleleh, misalnya dalam pembuatan produk ubin keramik, bata klinker dan bata tahan api.

3. Pengeringan

Pada saat keramik selesai dibentuk, biasanya mengandung air antara 7-30 % tergantung cara pembentukannya. Keramik ini masih dalam kondisi mentah dan basah sehingga untuk mengurangi kadar airnya perlu dikeringkan lebih dulu. Tujuan pengeringan adalah untuk mnguarkan air yang masih

terkandung di dalam produk mentah tadi, sehingga pada saat dibakar tidak banyak terjadi kerusakan, tidak berubah sifat maupun bentuknya.

Pada saat pengeringan, akan terjadi penyusutan karena air di dalam bahan mentah akan menguap sehingga butir-butir masa lempung akan mendekat satu sama lain. Penyusutan akan berhenti apabila air yang menguap telah mencapai $\pm 1/2 - 1/3$ kali. Apabila penyusutan telah selesai, maka produk kering sudah tidak mengalami perubahan bentuk lagi .

Pengeringan produk mentah dilakukan dengan 2 cara, yaitu :

- a. Pengeringan alami, yaitu suatu cara pengeringan yang memanfaatkan matahari dan suhu di sekitar benda tersebut. Kecepatan pengeringan alami tergantung oleh : suhu udara di sekitarnya, kelembaban udara, kecepatan gerakan udara.
- b. Pengeringan buatan, yaitu cara pengeringan dengan menggunakan tungku pemanas sehingga radiasi panas dari tungku dimanfaatkan untuk mengeringkan keramik mentah tadi.

4. Pembakaran

Pembakaran produk keramik bertujuan untuk mendapatkan produk yang bersifat tidak berubah bentuknya, keras, cukup kuat menahan beban, tahan air, padat dan tahan terhadap pengaruh cuaca lainnya.

Proses yang terjadi pada keramik selama pembakaran terdiri dari beberapa tahap, yaitu :

- a. Tahap penguapan air mekanis sisa pengeringan. Jumlah air yang terkandung di dalam bahan mentah keramik setelah pengeringan $\pm 3 - 10$ %. Pada tahap awal pembakaran, perlu dilakukan pengeringan air bebas ini. Pada tahap ini, pembakaran dilakukan secara perlahan-lahan dengan suhu relatif rendah (40 - 150°C) untuk menghindari penguapan secara mendadak yang menyebabkan benda retak. Kenaikan suhu pembakaran biasanya diatur antara 5 atau 10°C/jam.
- b. Tahap Penguapan air mineral. Pada umumnya air yang terkandung di dalam masa lempung tidak lepas pada suhu di bawah 200°C dan umumnya

lepas pada suhu di atas 500°C - 700°C. Pada tahap ini, benda keramik menjadi lebih berpori dan kurang kuat.

- c. Tahap Pembakaran Cepat. Pada tahap ini dimaksudkan agar terjadi sedikit peleburan pada dinding partikel lempung sehingga partikel satu dengan yg lainnya melekat. Untuk beberapa produk keramik yang memerlukan penyerapan air rendah, maka dilakukan peleburan lebih lanjut sehingga pori-pori yang ditinggalkan air bebas maupun air mineral menjadi tertutup.

Jenis jenis tungku pembakaran :

1. Tungku berkala (periodik). Tungku yang digunakan untuk pembakaran secara berkala, dimana sejumlah bahan keramik dibakar sekaligus sampai masak kemudian tungku didinginkan lagi dan hasil bakarannya dibongkar. Demikian dilakukan berulang secara berkala. Cara ini terlalu boros karena panas yang hilang banyak sekali, terutama panas untuk memanasi badan tungku dan sewaktu tungku dingin kembali.

Jenis-jenis tungku berkala :

- a. Tungku ladang, tungku yang biasa digunakan untuk membakar bata merah, bersifat tidak permanen. Lamanya pembakaran dari mulai memanasi tungku sampai tungku dingin kembali adalah 5 – 7 hari. Hasil bakaran pada umumnya menghasilkan rendamen rendah (60%).
- b. Tungku berkala permanen. Tungku ini berbentuk ruangan permanen (berbentuk segi empat dan lingkaran). Pada sisi bawah tungku diberi lubang-lubang pembakaran. Hasil bakaran pada umumnya merata dan menghasilkan rendamen antara 70 – 85 %.

2. Tungku Kontinu

Tungku yang bekerja secara terus menerus (tak berhenti) kecuali produksi berhenti. Proses pembakaran berlangsung berhari-hari, berbulan-bulan, dan hasilnya diambil setiap hari atau dalam jangka waktu tertentu.

Jenis tungku ini ada 2, yaitu :

- a. Tungku kamar, dikenal dengan tungku Hofman. Berbentuk lorong yang bersekat-sekat menjadi beberapa ruangan. Dengan tungku ini hasil produksi cukup besar, dimana 1 kamar menghasilkan ± 3500 bata dan lebih hemat

bahan bakar. Umumnya dipakai untuk produksi keramik bangunan skala besar (bata & genteng).

- b. Tungku terowongan. Berbentuk terowongan yang beratap. Pemabakaran dari samping, masa yang dibakar berjalan melalui lorong ini dengan kereta/lori. Jenis tungku ini termasuk modern untuk saat ini dengan bahan bakar cair atau gas. Umumnya dipakai untuk produksi keramik halus, produk-produk keramik misalnya yang mutu dan harganya tinggi seperti produk sanitair.

**DIAGRAM ALIR PROSES PEMBUATAN KERAMIK HALUS
DG CARA PENCETAKAN SLIP (SLIP CASTING)**

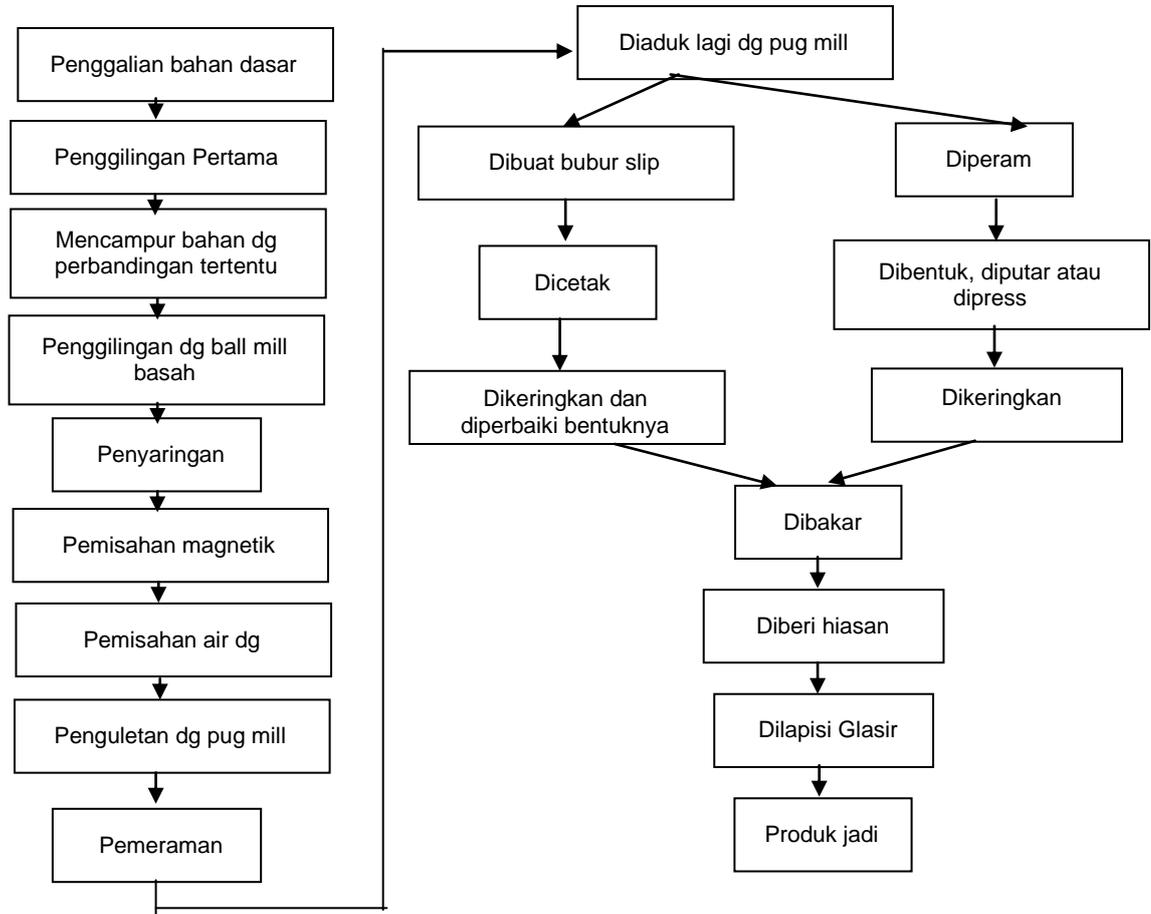


DIAGRAM ALIR PROSES PEMBUATAN PRODUK KERAMIK DARI LEMPUNG

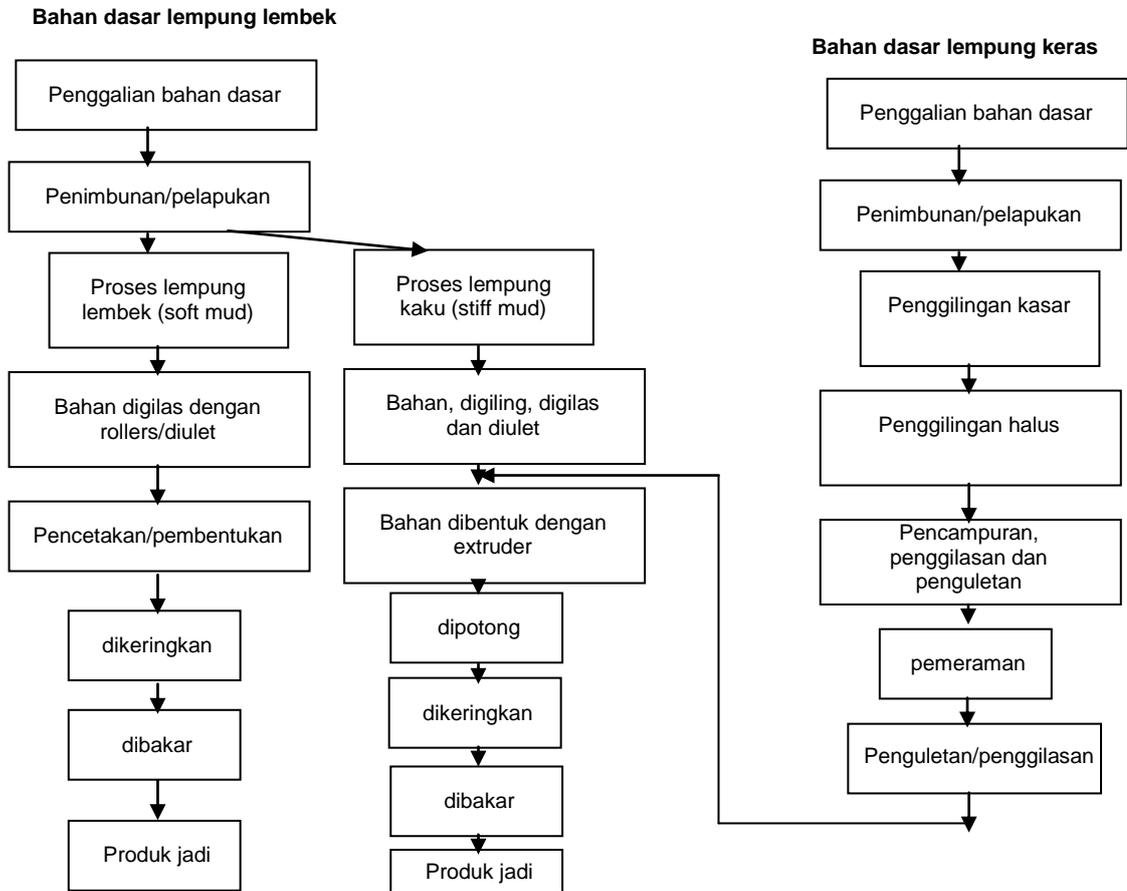
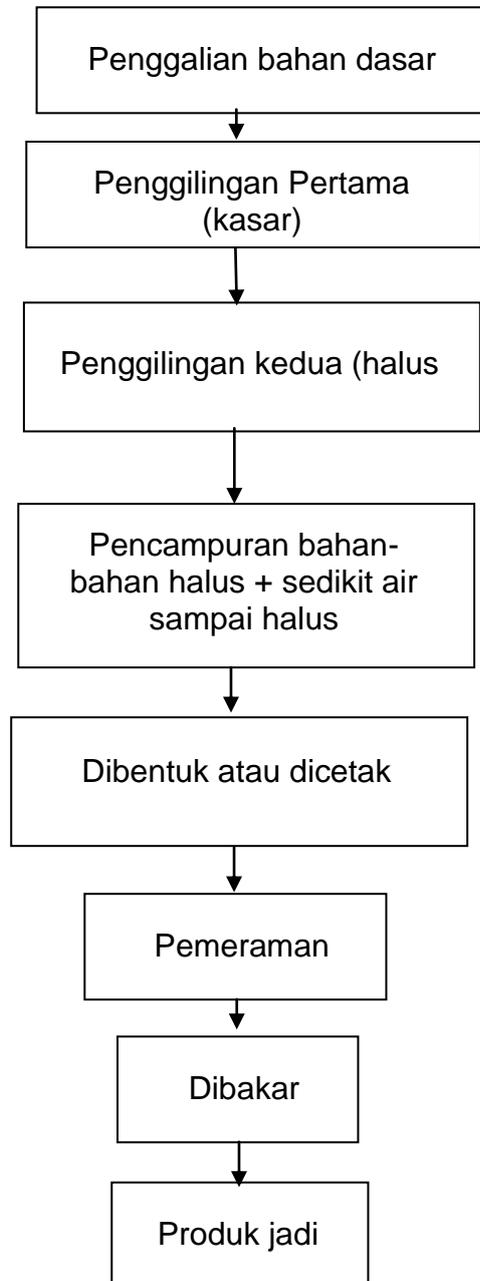


DIAGRAM ALIR PROSES PEMBUATAN DG PROSES KERING



7.3. MACAM-MACAM BAHAN BANGUNAN KERAMIK BERAT

1. BATA MERAH BIASA

- Kuat tekan rata-rata bata merah produk industri kecil : 50 kg/cm², untuk produk industri menengah atau besar rata-rata mencapai 150 – 200 kg/cm².
- Penyerapan air bata merah produk industri kecil mencapai 40 % dengan derajat penyerapan 70g/dm²/menit. Sedangkan untuk produk industri menengah yang menggunakan mesin, penyerapan airnya 20 – 24 % dengan derajat penyerapan 10 – 20 g/dm²/menit.
- Untuk pekerjaan yang baik, penyerapan air bata merah 10 – 20 g/dm²/menit.
- Di dalam bata merah tidak boleh mengandung garam sulfat, karena apabila garam ini mengering akan berubah menjadi kristal yang merusak jaringan tanah di dalam bata.
- Untuk dinding pemikul, kuat tekan bata minimum 50 kg/cm².
- Didalam SII 021, ukuran bata ada 3 macam, yaitu :
M 6 = 55 x 110 x 230 mm → Untuk tembok ½ bata tanpa memikul beban.
M 5a = 65 x 90 x 190 mm → Untuk tembok ½ bata tanpa memikul beban.

M 5b = 65 x 140 x 190 mm → Untuk tembok ½ bata tanpa memikul beban.
Penyimpangan ukuran untuk panjang, mak 4 mm sedangkan untuk lebar dan tebal mak 2 mm. Ukuran bata sangat penting pada saat pemasangan bata untuk konstruksi. Penyimpangan ukuran yang terlampau besar mengakibatkan ketebalan siar adukan bata tidak sama tebal. Tebal siar maksimum untuk pasangan bata adalah 3 mm. Apabila tebal siar lebih dari 3 mm maka kekuatan tembok turun 15 %. Untuk konstruksi dinding bata yang baik, tebal siar maksimum 20 % dari tinggi tembok dan mak 10 % dari panjang tembok.

2. BATA BERLUBANG

- Menurut SII 0604-81 bata berlubang adalah bata yang pada permukaannya terdapat lubang-lubang, dan jumlah luas lubang itu 15 – 35 % luas penampang batanya.
- Bata jenis ini dibuat dengan Extruder, dan diproduksi oleh industri menengah/besar.
- Syarat mutu bata ini lebih tinggi dibandingkan bata biasa. Bata jenis ini terdapat 5 kelas menurut kuat tekannya, yaitu 250, 200, 150, 100 dan 50 kg/cm². Syarat lain yang penting adalah penyerapan airnya tidak boleh lebih dari 20 %, untuk mutu rendah mak 22 %.
- Bata jenis ini biasa dipakai untuk konstruksi tembok pemikul, kecuali untuk yang mutu rendah untuk partisi.
- Manfaat utama penggunaan bata berlubang adalah :
 1. Bagi industri, pembuatannya lebih menguntungkan karena bahan yang dipakai lebih sedikit dibandingkan bata pejal serta pengeringannya lebih cepat.
 2. Bagi pemakainya, dinding dengan bata ini lebih baik daya sekatnya terhadap suhu panas/dingin, serta lebih meredam suara dibandingkan dengan bata pejal.
- Permukaan sisi bata ini cukup rata dan seragam sehingga dinding tidak perlu diplester.

3. BATA MERAH PELAPIS

- Cara pembuatannya sama dengan bata berlubang.
- Ukuran panjang dan lebar biasanya sama dengan bata biasa dengan ketebalan 10 mm.
- Persyaratan yang harus dipenuhi adalah : penyimpangan ukuran panjang dan lebarnya mak 2 %, penyerapan air mak 15 % dan tidak boleh mengandung garam sulfat.
- Penggunaannya untuk melapis dinding agar permukaannya terlihat seperti bata sesungguhnya dengan siar sambungan yang rapi.

4. BATA BERONGGA

- Yang dimaksud bata berongga adalah bila lubang-lubang pada salah satu penampang sisi bata, berjumlah 35 – 75 % luas penampangnya. Biasa disebut *bata karawang*.
- Cara pembuatan dan syarat mutunya sama dengan bata berlubang, kecuali syarat kuat tekannya. Persyaratan kuat tekan untuk bata berongga ada 2 macam yaitu syarat kuat tekan sejajar lubang dan kuat tekan tegak lurus lubang. Syarat kuat tekan sejajar lubang biasanya 30 – 50 % lebih tinggi daripada kuat tekan tegak lurus lubang. Penentuan kuat tekan dari dua arah ini perlu diketahui, karena di dalam penggunaannya bata berongga menahan beban dari 2 arah tersebut.
- Bata ini biasanya digunakan untuk elemen pembentuk balok/tiang yang menahan beban lentur seperti balok beton. Juga dipakai sebagai elemen pengisi untuk pembuatan dinding dan lantai.

5. BATA KLINKER

- Disebut juga bata pelapis jalan (paving blok) adalah jenis bata keramik bakaran keras (vitreous brick), dimana bata ini dibakar pada suhu hampir mencapai titik lelehnya. Bahan bakunya adalah tanah liat tahan api dicampur dengan atau tanpa serpih (lempung keras) yang bermutu baik.
- Pembuatannya dibentuk dengan proses lempung kaku (stiff mud) dengan pres tekanan tinggi sehingga mencapai kepadatan yang optimal.
- Suhu pembakaran yang digunakan biasanya 1200 °C.
- Bata klinker terutama dipakai untuk melapis permukaan jalan raya. Bata jenis ini belum dibuat di Indonesia.
- Syarat mutu :
 - tahan air, tahan cuaca, tahan gesekan, dan mempunyai kuat tekan tinggi.
 - Ketahanan aus dengan Ratler Test (Los Angeles test), untuk ukuran 8 ½ x 4 x 2 ½ in mak 26 %, ukuran 8 ½ x 4 x 3 in mak 24 %, ukuran 8 ½ x 3 ½ x 4 in mak 22 %.
 - Penyerapan air mak 2 %

- Kepadatan (berat volume) minimum 2,30.
- Kekerasan dibanding skala Moh's min 6.
- Kuat tekan rata-rata min 280 kg/cm². Biasanya bias mencapai 500 kg/cm².
- Kuat lentur 105 – 175 kg/cm². biasanya bisa mencapai 200 kg/cm².

6. UBIN TAHAN ASAM

- Cara pembuatan dan bahan-bahannya sama dengan bata klinker.
- Biasanya digunakan sebagai pelapis lantai yang harus tahan terhadap asam keras (HCl, asam sulfat, dll)

7. BATA BERGLASIR

- Termasuk jenis bata lapis/bata berlubang.
- Terbuat dari lempung serpih dengan proses ekstruder.
- Permukaannya dilapisi glasir untuk memperendah penyerapan airnya.
- Pengglasiran dilakukan pada saat bata mentah, glasir akan mengglas pada saat bata masak.

8. GENTENG KERAMIK

- Bahan dan proses pembuatannya sama dengan bata merah yang menggunakan ekstruder.
- Bentuk-bentuk genteng keramik di Indonesia yaitu : genteng datar bentuk echt (genteng kodok), genteng S lengkung cekung/vlam, genteng palentong (S datar), genteng ukuran besar model marsiles, romano, dll.
- Ukuran genteng menurut SII-022-61 : Ukuran kecil, jumlah genteng 25 buah/m², ukuran sedang jumlah genteng 20 buah/m², ukuran besar jumlah genteng 15 buah/m².
- Untuk di Indonesia, genteng keramik merupakan penutup atap yang paling murah dan paling baik.

- Sifat-sifat genteng keramik : tahan lama, penyekat panas yang baik dan tahan api.
- Kemiringan atap untuk genteng keramik 35° - 60° .

7.4. MACAM-MACAM BAHAN BANGUNAN KERAMIK HALUS

Jenis produk yang tergolong keramik halus terutama terletak pada penyiapan bahan mentahnya. Bahan mentahnya disiapkan dalam bentuk Lumpur halus (slip). Jenis-jenis produk keramik halus meliputi : alat-alat sanitair, keramik teknik dan perabotan rumah tangga.

Produk keramik halus dibagi menjadi 2 jenis, yaitu : produk vitreous (bakaran keras) dan produk semi vitreous.

a. Produk Vitreous

Produk keramik yang dibakar pada suhu $\pm 1400^{\circ}\text{C}$ sehingga massanya dapat meleleh semua dan bersatu serta memiliki penyerapan air rendah (0,3 % - 4 %). Contoh produk keramik vitreous adalah : closet, wastafel, urinoir, bak cuci, bak mandi, dll.

Bahan-bahan campurannya terdiri dari : 30 bagian tepung flint, 26 bagian tepung feldspar, 18 bagian tepung ball clay dan 26 bagian tepung kaolin.

Pembakaran produk keramik dilakukan di dalam tungku terowongan.

b. Produk semi vitreous

7.5. GLASIR DAN PIGMEN

Glaser (glase) dalam keramik adalah lapisan tipis berbentuk gelas yang melekat pada badan keramik. Tujuan pemberian glaser adalah :

- Untuk memberi ketahanan air pada keramik.
- Untuk memberi keindahan pada badan keramik.
- Keramik mudah dibersihkan.

Glaser dapat berbentuk cerah/bening, buram putih atau pudar, berwarna, permukaannya rata/halus, kasar, berbintik, dll.

Ada 3 jenis glaser, yaitu : glaser garam, glaser kasar/glaser tanah dan glaser frit.

a. *Glasir garam*

- Glasir yang terbuat dari garam dapur NaCl, dilakukan dengan cara menaburkan garam ke dalam tungku pembakaran, maka garam ini pada suhu tinggi akan terurai menjadi NaO. Karena adanya uap air maka akan terbentuk NaOH dan HCl. NaOH ini akan bereaksi dengan silikat yang ada pada badan keramik Aluminanya membentuk semacam gelas tipis di seluruh permukaan keramik yang tersentuh oleh uap garam. Dengan adanya lapisan glasir garam ini permukaan keramik terlihat mengkilap dan lebih rapat air.
- Badan keramik yang baik untuk diglasir dengan garam adalah yang banyak mengandung silica bebas.
- Warna keramik yang diglasir dengan garam umumnya coklat muda atau tua tergantung dari warna keramiknya.
- Biasanya dipakai untuk pembuatan pipa gress (sewer pipe), ubin tahan asam, bata klinker, guci/botol keramik dan alat-alat laboratorium.

b. *Glasir Kasar*

- Terbuat dari bahan-bahan yang tidak larut dalam air yang dilekatkan/dilapiskan pada permukaan keramik kemudian dibakar sampai lebur.
- Bahan asalnya digiling sampai sangat halus kemudian dibuat suspensi, dilapiskan pada badan keramik lalu dibakar.
- Glasir ini titik lelehnya tinggi.
- Bahan pelebur glasir terdiri dari : feldspar, oksida timbale atau kapur.

c. *Glasir Frit*

- Glasir frit adalah glasir yang sebelum dipakai dilebur dulu. Hasil peleburannya langsung dimasukkan air sehingga berbentuk pasir gelas kemudian digiling halus.
- Pada saat pemakaian, tepung glasir frit ini dicampur air menjadi suspensi untuk dilapiskan pada permukaan keramik.

- Glasir ini paling banyak dipakai pada industri keramik karena mudah dipakai dan dapat digunakan untuk keramik dengan bakaran suhu rendah.

Bahan- Bahan Pembuat Glasir

a. Silika

Merupakan bahan utama pembuat glasir. Silika banyak terdapat pada batu api (plint) yang digiling halus.

b. Oksida bor (B_2O_3)

Dapat menghasilkan glasir yang lebur pada suhu rendah dan pemuaian kecil. Bila terlalu banyak pemakaiannya akan menyebabkan rendahnya ketahanan glasir terhadap asam dan air.

c. Alumina (Al_2O_3)

Memiliki sifat basa atau asam. Alumina digunakan untuk membuat glasir tahan api dan menaikkan titik lebur glasir. Untuk glasir suhu rendah, alumina yang dipakai berasal dari feldspar. Untuk glasir suhu tinggi, alumina yang dipakai menggunakan kaolin.

d. Kapur atau magnesia.

CaO atau MgO dipakai sebagai pelebur (fluk) untuk glasir yang suhunya tinggi.

e. Oksida timbal (PbO)

Merupakan bahan pelebur yang paling banyak dipakai dalam glasir karena dapat bereaksi dengan silica dengan baik dan merendahkan suhu leburnya. Oksida ini berbahaya bagi kesehatan. Oleh karena itu dalam pemakaiannya melalui proses frit.

f. Na_2O dan K_2O

Unsur ini banyak terdapat pada feldspar. Biasanya digunakan sebagai pelebur (fluk) dan digunakan untuk membuat glasir suhu rendah. Sebaiknya pemakaiannya berbentuk glasir frit.

Pewarna Keramik (Pigmen)

- Jenis pewarna keramik ada 2 jenis yaitu : dipakai di bawah glasir (underglaze colors) dan dipakai di atas glasir (overglaze colors).
- Underglaze colors terbuat dari oksida berwarna dicampur dengan bahan tahan api seperti kaolin dan alumina. Bersifat memiliki titik leleh yang lebih tinggi dibandingkan dengan titik leleh glasir.
- Overglaze colors terbuat dari oksida berwarna dicampur pelebur (fluk) lalu dibuat frit dan digiling halus. Memiliki sifat tidak leleh pada suhu rendah yang tidak meleburkan glasir di bawahnya.
- Jenis-jenis oksida yang biasa dipakai untuk pigmen adalah : oksida besi, oksida cobalt, oksida tembaga, oksida mangan, dll.

7.6. REFRAKTORI

- Refraktori adalah bahan/produk keramik yang tahan lebur/deformasi pada suhu tinggi. Produk ini tidak meleleh pada suhu ± 1515 °C. Biasanya digunakan oleh industri lain yang bekerja pada suhu tinggi.
- Jenis-jenis refraktori :

a. Refraktori asam

Jenis refraktori ini paling banyak digunakan karena tahan terhadap terak yang bersifat asam. Jenis-jenis produk refraktori asam meliputi :

- ✚ Jenis tanah liat tahan api, berupa bata samot yang digunakan pada industri-industri keramik/industri dengan proses suhu tinggi.
- ✚ Jenis refraktori silica, berupa bata silica tahan api. Terbuat dari kuarsa yang mengandung SiO_2 95 % dan CaO_2 %. Umumnya digunakan untuk atap tungku pada industri gelas.
- ✚ Jenis bata alumina, yaitu bata yang memiliki kadar $\text{Al}_2\text{O}_3 \pm 50$ %, titik lebur 1800°C , tahan terhadap pengaruh terak. Biasanya digunakan untuk tungku peleburan gelas.

b. Refraktori Basa

Dipakai untuk peleburan, dimana terdapat terak bersifat basa. Biasanya dipakai untuk tungku peleburan besi/baja, semen, kapur. Bahan bakunya

terdiri dari : dolomite, chrome, chrome magnesit (kadar chromenya dominant), magnesit chrome. Biasanya dikenal dengan nama bata tahan api dolomite.

c. Refraktori netral

Jenis refraktori/bata tahan api yang tahan terhadap terak asam atau basa. Diproduksi dalam jumlah kecil karena mahal dan sulit pembuatannya. Bahan dasarnya berupa grafit, silicon karbit dan alumina murni. Biasanya digunakan untuk peleburan logam non ferro, dimana suhu peleburannya tidak terlalu tinggi.

RANGKUMAN :

- *Bahan baku keramik adalah tanah liat (lempung), yang terdapat dalam bentuk batuan adalah feldspar, kwarsa dan batu kapur.*
- *Proses pembuatan keramik terdiri dari : penyiapan bahan mentah, pembentukan produk keramik, pengeringan, pembakaran dan finishing.*
- *Jenis-jenis produk keramik kasar yaitu bata merah biasa, bata berlubang, bata merah pelapis, bata klinker, ubin tahan asam, genteng keramik, bata berongga dan bata berglasir.*
- *Jenis-jenis produk keramik halus yaitu produk vitreous dan semi vitreous. Contohnya adalah alat-alat sanitair.*
- *Glaser adalah lapisan tipis berbentuk gelas yang melekat pada badan keramik. Tujuan pemberian glaser adalah untuk memberi ketahanan air pada keramik, memberi keindahan pada badan keramik dan keramik mudah dibersihkan. Ada 3 jenis glaser, yaitu : glaser garam, glaser kasar/glaser tanah dan glaser frit.*
- *Refraktori adalah bahan/produk keramik yang tahan lebur/deformasi pada suhu tinggi. Produk ini tidak meleleh pada suhu ± 1515 °C. Biasanya digunakan oleh industri lain yang bekerja pada suhu tinggi. Jenis-jenis refraktori adalah refraktori asam, basa dan netral. Contoh produk refraktori : bata samot, bata silika tahan api, dll.*

SOAL-SOAL LATIHAN :

1. Jelaskan sifat-sifat bahan baku yang dapat digunakan untuk membuat produk keramik !
2. Jelaskan proses pembuatan produk keramik !
3. Jelaskan jenis-jenis/cara pembentukan produk keramik !
4. Jelaskan syarat-syarat yang harus dimiliki bata keramik dan apa yang terjadi bila bata tersebut tidak memenuhi syarat !
5. Jelaskan proses pembuatan genteng keramik !
6. Jelaskan apa yang dimaksud dengan produk vitreous dan semi vitreous !
7. Jelaskan fungsi glasir pada keramik !
8. Jelaskan apa yang disebut dengan glasir frit dan jelaskan proses pembuatan glasir tersebut !
9. Jelaskan apa yang dimaksud dengan refraktori !
10. Jelaskan jenis-jenis refraktori !

BAB VIII

KAYU DAN BAMBU

8.1. SIFAT KAYU DAN PERTUMBUHANNYA

- *Bagian-bagian pohon :*

1. Bagian akar

Berfungsi :

- a. Untuk mengisap air yang mengandung mineral dari tanah ke bagian-bagian pohon yang lain.
- b. Untuk menegakkan tanaman pada tempat tumbuhnya sehingga pohon cukup kuat berdiri dan tumbuh serta menahan angin.

2. Bagian batang pokok

Bagian pohon yang dimulai dari pangkal akar sampai ke bagian bebas cabang.

Berfungsi untuk melindungi pertumbuhan sel-sel pembentuk pohon, sebagai tempat tumbuhnya cabang, daun dan ranting, sebagai lalu lintas makanan dari akar ke daun serta karbohidrat yang dibentuk daun ke bawah.

3. Bagian Tajuk

Merupakan bagian pemrosesan pertumbuhan yang ditutupi oleh daun yang mengandung klorofil. Proses sintesa yang dibantu oleh sinar matahari memisahkan karbondioksida yang diserap dari udara diubah menjadi zat gula dan karbohidrat lainnya (dengan melepas oksigen) untuk membentuk sel-sel baru bagi pertumbuhannya.

8.2. BAGIAN – BAGIAN KAYU

- *Struktur batang pokok (bagian-bagian kayu)*

Bagian batang pokok merupakan bagian pohon yang terpenting yang digunakan untuk konstruksi. Penampang dari sepotong batang pohon terdiri dari :

1. Kulit

Terdapat pada bagian terluar batang pohon. Terdiri dari dua bagian :

- a. Kulit bagian luar yang mati, mempunyai ketebalan yang bervariasi menurut jenis pohon, kering dan berwarna tua.
- b. Kulit bagian dalam bersifat hidup dan tipis yang bertugas mengangkut getah yang dirubah oleh daun ke bagian pohon yang tumbuh.

Selain itu kulit juga berfungsi sebagai pelindung bagian-bagian terdalam terhadap pengaruh luar yang merusak seperti iklim, serangga, hama dan kebakaran.

2. Kambium

Merupakan jaringan yang lapisannya tipis dan bening semacam lender yang terdapat diantara kulit dan kayu, melingkari kayu, ke arah luar membentuk kulit baru menggantikan kulit lama yang telah rusak, ke dalam membentuk kayu baru. Dengan adanya cambium, pohon tumbuh besar.

3. Kayu gubal

Bagian kayu yang masih muda terdiri dari sel-sel yang masih hidup, terletak di sebelah dalam kambium yang berfungsi sebagai penyalur cairan dan tempat penimbunan zat-zat makanan. Tebal kayu gubal 1 – 20 cm.

4. Kayu teras

Merupakan jaringan sel yang membentuk kayu keras, yaitu bagian batang yang fungsinya untuk memperkuat batang kayu agar tegar berdiri. Bagian ini merupakan susunan sel kayu yang telah menua, memadat/mengeras, lebih keras daripada sel-sel kayu yang terdapat pada lapisan kayu gubal. Warnanya lebih tua dari kayu gubal. Bagian ini merupakan bagian terpenting dari kayu sebagai bahan konstruksi bangunan.

5. Hati kayu (pitch)

Merupakan bagian kayu yang terletak pada pusat lingkaran tahun. Biasanya digunakan untuk menentukan jenis suatu pohon. Pada umumnya bersifat rapuh atau lunak untuk beberapa jenis kayu, dan ada yang bersifat keras.

6. Lingkaran tahun

Yaitu batas antara kayu yang terbentuk pada permulaan dan pada akhir suatu musim. Melalui lingkaran tahun ini dapat diketahui umur suatu pohon.

7. Jari-jari

Sel-sel kayu yang berarah tegak lurus batang mengarah dari kulit ke hati (arah radial) berfungsi sebagai tempat saluran makanan yang mudah diproses di daun untuk pertumbuhan pohon.

8.3. JENIS DAN KLASIFIKASI KAYU

Jenis kayu yang digunakan untuk konstruksi bangunan didasarkan atas sifat kayu itu sendiri yang berhubungan dengan pemakaiannya. Berdasarkan pemakaiannya kayu digolongkan menjadi :

- a. Kayu dengan tingkat pemakaian I dan II, jenis kayu yang dipakai untuk konstruksi berat, yang selalu terkena pengaruh tanah lembab, terpengaruh basah kering (hujan dan matahari).
- b. Tingkat pemakaian III, kayu yang digunakan untuk konstruksi yang terlindung dari tanah lembab (di bawah atap).
- c. Tingkat pemakaian IV, kayu yang digunakan untuk konstruksi ringan yang terlindung dari tanah lembab (di bawah atap).
- d. Tingkat pemakaian V, kayu yang digunakan untuk konstruksi yang tidak permanen (bangunan sementara).

Berdasarkan tingkat keawetannya (tahan lama), kayu dibedakan menjadi :

Tingkat Keadaan	I	II	III	IV	V
A	8 tahun	5 tahun	3 tahun	Cepat sekali	Cepat sekali
B	20 tahun	15 tahun	10 tahun	Beberapa th	Cepat
C	Tak terbatas	Agak lama	10 - 20 th	20 tahun	20 tahun
Searngan rayap	Tak pernah	Jarang	Agak lekas	Lekas sekali	Lekas sekali
Searngan bubuk	Tak pernah	Tak pernah	Tak pernah	Mungkin	lekas

Keterangan :

- a. Selalu terkena tanah dan lembab
- b. Hanya terpengaruh oleh hujan , matahari dan terlindung air
- c. Berada di bawah atap (terlindung) tidak terkena tanah lembab.

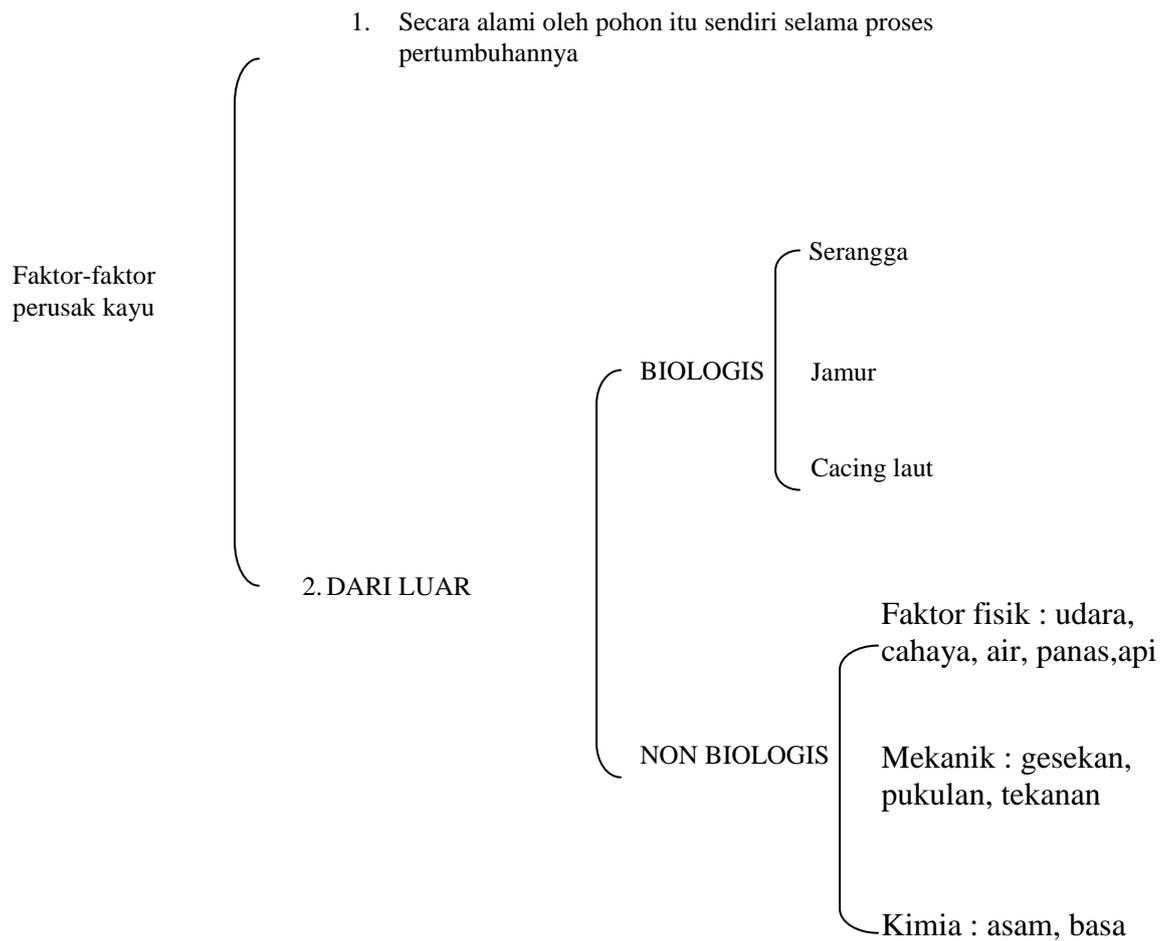
Jenis kayu berdasarkan kekuatannya dibedakan menjadi :

Sifat	Kelas Kekuatan Kayu				
	I	II	III	IV	V
a. Kuat lentur (kg/cm ²)	150	100	75	50	-
b. Kuat tekan sejajar serat (kg/cm ²)	130	85	60	45	-
c. Kuat tekan tegak lurus serat (kg/cm ²)	40	25	15	10	-
d. Kuat geser (kg/cm ²)	20	12	8	5	-

8.4. CACAT PADA KAYU

Kerusakan dan cacat pada kayu mengakibatkan kekuatan kayu menurun, harga kayu rendah serat mutu dan nilai pakai kayu menurun. Kerusakan pada kayu meliputi : retak-retak, pecah, belah, serangan jamur dan serangan serangga.

Faktor-faktor yang menyebabkan kayu rusak digambarkan pada diagram di bawah ini,



Jenis-jenis cacat pada kayu yaitu :

a. Cacat mata kayu

Mata kayu adalah bagian cabang yang berada dalam kayu. Adapun jenis-jenis mata kayu adalah :

- Mata kayu sehat, yaitu mata kayu yang tidak busuk , berpenampang keras, tumbuh kukuh dan rapat pada kayu.
- Mata kayu lepas, yaitu mata kayu yang tidak tumbuh rapat pada kayu, biasanya pada proses pengerjaan mata kayu ini lepas dan tidak ada gejala busuk.
- Mata kayu busuk, yaitu mata kayu yang menunjukkan gejala pembusukan, bagian-bagian kayunya lunak/lapuk.

Pengaruh mata kayu, yaitu mengurangi sifat keteguhan kayu, menyulitkan pengerjaan karena penampang mata kayu keras (pada mata kayu sehat), mengurangi keindahan permukaan kayu dan menyebabkan lubangnya lembaran-lembaran finis.

b. Pecah dan belah

Perbedaan antara retak, pecah dan belah adalah tergantung pada panjangnya serat yang terpisah. Retak apabila serat-serat yang terpisah memanjang ≤ 2 mm, pecah apabila serat-serat yang terpisah memanjang ≤ 6 mm dan belah apabila serat-serat yang terpisah memanjang > 6 mm.

Cacat ini disebabkan karena :

- Ketidakimbangan arah penyusutan pada waktu kayu kering.
- Tekanan pada kayu yang terlepas pada waktu kayu ditebang.
- Pada waktu penebangan kurang hati-hati sehingga kayu robek atau menimpa benda keras.

Cacat ini mengakibatkan keteguhan tarik dan keteguhan tekan kayu berkurang yang disebabkan karena distribusi tegangan tidak merata pada saat kayu menahan beban, Kuat geser kayu turun yang disebabkan karena adanya pengurangan luas daerah yang menahan geseran.

c. Pecah busur dan pecah gelang

Pecah busur yaitu pecah yang mengikuti arah lingkaran tumbuh, bentuknya kurang dari $\frac{1}{2}$ lingkaran. Sedangkan pecah gelang yaitu kelanjutan pecah busur yang kedua ujungnya bertemu membentuk lingkaran penuh.

Penyebabnya adalah ketidakseimbangan dalam penyusutan pada waktu kayu mengering, tegangan di dalam kayu tiba-tiba terlepas pada saat penebangan.

Pengaruhnya dapat menyebabkan kuat tekan, kuat tarik dan kuat geser kayu menurun.

d. Hati kayu rapuh

Cacat pada kayu yang dimulai oleh proses pembusukan paling awal pada pusat lingkaran tumbuh kayu bulat. Cacat ini biasanya terjadi pada kayu berdaun lebar yang menyebabkan kekuatan kayu turun dan menyulitkan pada saat proses pembuatan finis.

e. Jamur penyerang kayu

Jamur penyerang kayu jenisnya terdiri dari jamur pembusuk kayu, jamur pelapuk kayu dan jamur penyebab noda pada kayu. Cacat ini menyebabkan kayu rapuh sehingga kekuatannya turun kemudian patah secara mendadak bila diberi beban.

f. Serangga Perusak kayu

Jenisnya terdiri dari : rayap, kumbang kayu dan bubuk kayu. Cacatnya berupa lubang pada kayu yang menyebabkan kekuatan kayu turun dan mengurangi keindahan permukaan kayu.

g. Lubang gerek dan lubang cacing laut

Lubang yang disebabkan oleh serangga penggerek atau cacing laut. Pada umumnya menyerang kayu yang baru ditebang dan pada pohon yang masih tegak berdiri.

8.5. PENGAWETAN KAYU

Keawetan kayu adalah daya tahan suatu jenis kayu terhadap factor-faktor perusak kayu yang datang dari luar tubuh kayu itu sendiri. Keawetan kayu diselidiki pada bagian kayu terasnya. Pemakaian kayu akan menentukan umur keawetannya.

Beberapa alasan dilakukan pengawetan kayu, yaitu :

- Kayu yang memiliki kelas keawetan alami tinggi jumlahnya sangat sedikit sehingga menyebabkan harga kayu menjadi mahal.
- Kayu dengan kelas keawetan III sampai dengan V jumlahnya cukup banyak, mudah didapat, harganya murah dan mempunyai segi keindahan cukup tinggi. Hanya saja keawetannya kurang. Oleh karena itu lebih efisien apabila diawetkan terlebih dahulu.
- Dengan pengawetan kayu, secara financial lebih menguntungkan.

Adapun tujuan pengawetan kayu adalah :

- Untuk memperbesar keawetan kayu sehingga kayu yang semula memiliki umur pakai pendek menjadi lebih panjang di dalam pemakaiannya.
- Memanfaatkan pemakaian jenis-jenis kayu berkelas keawetan rendah.

- Dengan adanya industri pengawetan kayu dapat membuka lapangan kerja baru.

Prinsip-prinsip dalam pengawetan kayu, yaitu :

- Pengawetan kayu harus merata pada seluruh bidang kayu.
- Penetrasi dan retensi bahan pengawet diusahakan masuk sedalam dan sebanyak mungkin ke dalam kayu.
- Bahan pengawet harus tahan terhadap pelunturan.
- Waktu yang digunakan tidak terlalu lama.
- Metode pengawetan yang digunakan.
- Faktor-faktor sifat kayu sebelum diawetkan seperti kadar air kayu, jenis kayu, zat ekstraktif di dalam kayu.
- Faktor peralatan yang digunakan.

Bahan Pengawet Kayu

Syarat-syarat bahan pengawet kayu, yaitu :

- ✚ Bersifat racun terhadap perusak kayu.
- ✚ Mudah masuk dan tetap berada di dalam kayu.
- ✚ Tidak mudah luntur.
- ✚ Bersifat toleran terhadap bahan lain seperti : logam, perekat dan cat/finishing.
- ✚ Tidak mempengaruhi kembang susut kayu.
- ✚ Tidak mudah terbakar.
- ✚ Tidak berbahaya bagi manusia.
- ✚ Mudah dikerjakan, diangkut, mudah didapat dan murah.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada saat memilih bahan pengawet, yaitu :

- Dimana kayu itu akan dipakai setelah diawetkan.
- Mahluk atau jenis perusak kayu yang terdapat di tempat tersebut.
- Syarat-syarat kesehatan.

Jenis-jenis bahan pengawet kayu, yaitu :

- a. Bahan pengawet larut dalam air

Jenis bahan pengawet kayu yang menggunakan air sebagai bahan pengencer.

Adapun sifat dari bahan pengawet jenis ini adalah :

- Dijual dalam bentuk garam, larutan pekat dan tepung.
- Tidak mengotori kayu.
- Kayu yang sudah diawetkan dapat difinishing setelah dikeringkan.
- Retensi dan penetrasi bahan pengawet cukup tinggi masuk ke dalam kayu.
- Penggunaannya mudah.
- Mudah luntur.

Jenis ini baik digunakan untuk kayu yang digunakan di bawah atap. Contoh bahan yang termasuk jenis pengawet ini adalah : tanalith C, celcure, boliden, greensalt, superwolman, borax, asam borat, dll. Konsentrasi larutan 5 – 10 %.

b. Bahan pengawet larut minyak.

Sifat-sifat umum jenis pengawet kayu ini adalah :

- Dijual dalam perdagangan berbentuk cairan agak pekat, bubuk (tepung). Bila akan digunakan dilarutkan dulu dalam minyak seperti solar, minyak diesel, dll.
- Bersifat menolak air dan daya lunturnya rendah.
- Daya cegah terhadap perusak kayu cukup baik.
- Memiliki bau tidak enak dan alergis.
- Warnanya gelap sehingga kayu yang diawetkan menjadi kotor.
- Sulit difinishing.
- Penetrasi dan retensi agak kurang disebabkan tidak adanya toleransi antara minyak dan kadar air pada kayu.
- Mudah terbakar.

Nama-nama bahan dalam perdagangan yang termasuk dalam jenis pengawet kayu ini adalah : pentha chlor phenol (PCP), rentokil, Cu-Napthenate, tributyltin-oxide, dowicide, restol, anticelbol, cuprinol, solignum, xylaman, brunophen, pendrex, dieldrien dan aldrin.

c. Bahan Pengawet berupa minyak.

Jenis bahan pengawet ini jarang digunakan. Sifatnya sama dengan bahan pengawet larut minyak. Nama-nama dalam perdagangan adalah : creosot, carboleneum, ter kayu, naphthaline, dll.

Metode dan Cara Pengawetan Kayu

Agar diperoleh hasil pengawetan yang baik, perlu diperhatikan faktor-faktor sebagai berikut :

- Sebelum diawetkan kayu harus cukup kering dengan kadar air 20 – 25 %.
- Kayu harus bebas dari kulit dan kotoran.
- Bentuk kayu berupa kayu gergajian/dolok.
- Kayu dalam bentuk siap pakai, setelah diawetkan tidak boleh digergaji, dibelah atau diserut.
- Jenis bahan pengawet
- Faktor/jenis serangga perusak kayu.

Cara Pengawetan Kayu

1. Cara Pemulasan dan penyemprotan

Cara pengawetan yang paling sederhana dan menghasilkan pengawetan yang kurang baik karena van pengawet yang masuk dan diam pada kayu hanya sedikit serta van pengawet mudah luntur. Keuntungannya hadala : alat yang digunakan sederhana, mudah penggunaannya dan murah. Dianjurkan hanya dipakai sementara, serangan perusak kayu tidak ganas dan untuk pengawetan kayu yang sudah terpasang. Contohnya memberi lapisan cat pada kayu, melabur kayu dengan ter, dll.

2. Cara Rendaman

Kayu direndam dalam bak larutan bahan pengawet yang telah ditentukan kepekatannya selama beberapa hari. Kayu harus terendam semua.

Ada tiga cara pengawetan dengan rendaman, yaitu : rendaman dingin, rendaman panas dan rendaman panas-dingin.

Bahan pengawet yang digunakan berupa garam.

Keuntungannya : Penetrasi dan retensi van pengawet lebih banyak, kayu dalam jumlah banyak dapat diawetkan bersama, larutan dapat digunakan berulang kali.

Adapun kerugian pengawetan kayu dengan cara rendaman adalah :waktunya lama terutama rendaman dingin, peralatannya mudah kena karat, pada proses

rendaman panas kayu dapat terbakar dan kayu basah sulit diawetkan dengan cara ini.

3. Cara Tekanan dan vakum (cara modern)

Keuntungannya : penetrasi dan retensi bahan pengawet tinggi sekali, waktunya singkat dan dapat mengawetkan kayu basah atau kering.

Kerugiannya adalah : biayanya mahal, perlu ketelitian tinggi dan hanya digunakan untuk perusahaan komersial.

Menurut cara kerjanya, proses ini dibagi menjadi :

- a. Proses sel penuh, dimana pada proses ini bahan pengawet mengisi seluruh lumen sel kayu. Metode sel penuh ada 2 cara yaitu metode Bethel dan Bennett.
- b. Proses sel kosong, yaitu bahan pengawet hanya mengisi ruang antar sel kayu. Ada dua cara yaitu cara Rueping, menggunakan tekanan awal 4 atmosphere dinaikkan sampai dengan 8 atm. Cara kedua yaitu cara Lawry menggunakan tekanan awal 7 atm.

Urutan cara kerja proses sel penuh, yaitu :

- a. Kayu dimasukkan ke dalam tangki tertutup rapat.
- b. Dilakukan pengisapan udara (vakum) dalam tangki dengan tekanan 60 cm/Hg ± 90 menit.
- c. Sambil divakum, bahan pengawet dimasukkan ke tangki sampai penuh.
- d. Setelah tangki penuh, vakum dihentikan diganti dengan proses tekanan ± 8 – 15 atmosphere ± 2 jam
- e. Tekanan dihentikan, bahan pengawet dikeluarkan
- f. Dilakukan vakum terakhir ± 40 cm/Hg ± 10 menit untuk membersihkan permukaan kayu dari bahan pengawet.

Urutan cara kerja proses sel kosong :

- a. Kayu dimasukkan ke tangki tertutup rapat.
- b. Langsung diberi tekanan ke dalam tangki ± 4 atmosphere ± 10 – 20 menit.
- c. Bahan pengawet dimasukkan ke dalam tangki sampai penuh.
- d. Tekanan ditingkatkan sampai 7-8 atmosphere selama 2 jam.
- e. Tekanan dihentikan, bahan pengawet dikeluarkan

- f. Dilakukan vakum terakhir $\pm 60 \text{ cm/Hg} \pm 10$ menit untuk membersihkan permukaan kayu dari bahan pengawet.

8.6. SPESIFIKASI/STANDAR KAYU BANGUNAN

Standar/peraturan kayu untuk konstruksi di Indonesia pertama kali adalah Peraturan konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) yang disusun pada tahun 1961. Peraturan/standar ini disusun berdasarkan sifat mekanis dan berat jenis kayu. Peraturan ini disempurnakan pada tahun 2000. Selain itu pada tahun 1980 juga disusun Standar Kayu Bangunan yang diterbitkan oleh Departemen Perindustrian. Di dalam standar ini tercakup mengenai ukuran kayu perdagangan. Kedua standar ini masih perlu penyempurnaan cara penerapannya di lapangan.

8.7. SIFAT FISIK DAN MEKANIK KAYU

Semua kayu memiliki sifat fisik, mekanik dan sifat kimia yang berbeda antara satu dengan yang lain. Secara umum kayu mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Semua pohon mempunyai pengaturan vertikal dan sifat simetri radial.
- b. Kayu tersusun dari sel-sel yang memiliki tipe bermacam-macam dan susunan dinding selnya terdiri dari senyawa kimia berupa selulosa, hemisellulosa (unsur karbohidrat) dan lignin (non karbohidrat).
- c. Semua kayu memiliki sifat anisotropik, yaitu memperlihatkan sifat-sifat berlainan jika diuji menurut tiga arah utamanya (longitudinal, tangensial dan radial).
- d. Kayu merupakan suatu bahan yang bersifat higroskopik, yaitu dapat kehilangan atau bertambah kelembabannya akibat perubahan kelembaban dan suhu udara di sekitarnya.
- e. Kayu dapat diserang makhluk hidup perusak kayu dan dapat terbakar.

Adapun sifat-sifat Fisik Kayu, yaitu :

- a. Berat Jenis

Kayu memiliki berat jenis yang berbeda-beda, antara 0,2 (kayu balsa) sampai 1,28 (kayu nani). Berat jenis merupakan petunjuk untuk menentukan sifat-sifat

kayu. Makin berat kayu itu, kekuatan kayu makin besar. Makin ringan kayu itu, kekuatannya juga makin kecil. Berat jenis tergantung oleh tebal dinding sel, kecilnya rongga sel yang membentuk pori-pori.

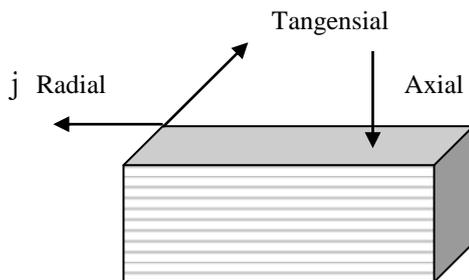
- b. Keawetan alami kayu. Keawetan alami kayu berbeda-beda antara satu dengan yang lain. Keawetan kayu disebabkan oleh adanya suatu zat di dalam kayu (zat ekstraktif) yang merupakan sebagian unsur racun bagi perusak kayu.
- c. Warna kayu. Warna suatu jenis kayu dipengaruhi oleh : tempat di dalam batang, umur pohon dan kelembaban udara.
- d. Higroskopik, yaitu sifat dapat menyerap atau melepaskan air atau kelembaban. Makin lembab udara sekitar, kayu juga semakin lembab. Masuknya air ke dalam kayu menyebabkan berat kayu bertambah. Sifat ini berhubungan dengan sifat mengembang dan menyusut kayu.
- e. Tekstur kayu yaitu ukuran relatif dari sel-sel kayu. Menurut teksturnya, kayu dibedakan menjadi :
 - Kayu bertekstur halus, contohnya kayu giam, lara, kulim, dll.
 - Kayu bertekstur sedang, contohnya kayu jati, sonokeling, dll.
 - Kayu bertekstur kasar, contohnya kayu kempas, meranti, dll.
- f. Berat kayu. Berat suatu jenis kayu tergantung dari jumlah zat kayu yang tersusun, rongga-rongga sel atau jumlah pori-pori, kadar air dan zat ekstraktif. Berat suatu kayu tergantung dari berat jenisnya.

Kelas berat Kayu	Berat Jenis	Contoh
sangat berat	> 0,90	kayu giam, balau
Berat	0,75 - 0,90	Kulim
Agak berat	0,60 - 0,75	Bintangur
Ringan	< 0,60	balsa, pinus

- g. Kekerasan. Kekerasan kayu berhubungan dengan berat dan berat jenis kayu. Contoh kayu yang sangat keras : balau, giam, kayu besi, dll. Kayu keras, yaitu kulim, pilang, dll. Kayu sedang, yaitu : mahoni, meranti, dll. Kayu lunak, yaitu : pinus, balsa, dll.
- h. Kepadatan/kerapatan kayu, yaitu perbandingan antara berat kering oven dengan isi (volume) dari sepotong kayu. Kepadatan kayu mempengaruhi

kekuatan kayu. Kepadatan kayu tergantung dari banyaknya dinding sel pada tiap satuan isi. Makin banyak selnya, dinding selnya banyak sehingga kepadatannya tinggi maka kekuatannya juga tinggi. Contoh : kayu gubal susunan selnya masih renggang sehingga kekuatannya lebih rendah dibandingkan kayu teras.

- i. Sifat mengembang dan menyusut. Kayu akan mengembang bila kadar airnya naik dan menyusut bila kadar airnya berkurang. Besarnya pengembangan dan penyusutan tidak sama pada semua arah. Rata-rata besarnya pengembangan dan penyusutan pada arah tangensial : 4-14%, arah radial : 2 – 8 %, arah axial : 0,1 – 0,2 %.



Keterangan :

Arah tangensial, menurut arah garis singgung lingkaran batangnya

Arah axial, arah sejajar serat/batang.

Arah radial, arah menuju pusat/hati kayu.

Bila air menguap dari kayu maka lapisan permukaan kayu yang banyak mengandung air akan menyusut sehingga timbul tegangan tarik, pada bagian dalam selnya timbul tegangan tekan. Bila tegangan tarik melebihi kekuatan serat maka akan menyebabkan kayu retak.

Sifat mekanik Kayu

Sifat mekanik kayu yaitu kemampuan kayu untuk menahan beban yang berasal dari luar. Yang mempengaruhi sifat mekanik kayu yaitu :

- a. Faktor luar, terdiri dari pengawetan kayu, kelembaban lingkungan, pembebanan dan cacat yang disebabkan oleh jamur dan serangga perusak kayu.
- b. Faktor internal, terdiri dari : berat jenis kayu, kadar air, cacat mata kayu dan penyimpangan arah serat kayu.

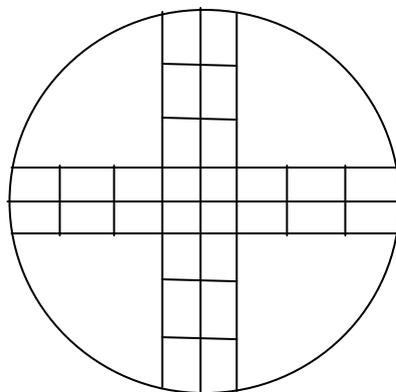
Sifat mekanik kayu meliputi :

- a. Kuat tarik, yaitu kekuatan kayu untuk menahan gaya-gaya yang berusaha menarik kayu itu. Kuat tarik kayu sejajar serat lebih besar dibandingkan kuat tarik tegak lurus serat.
- b. Kuat tekan, yaitu kemampuan kayu dalam menahan beban tekan. Kuat tekan sejajar serat biasanya lebih besar dari kuat tekan tegak lurus serat.
- c. Kuat geser, yaitu kemampuan kayu dalam menahan beban geser. Kuat geser sejajar serat biasanya lebih kecil dari kuat geser tegak lurus serat.
- d. Kuat Lentur, yaitu kemampuan kayu dalam menahan beban lentur.
- e. Kuat belah, yaitu kemampuan kayu dalam menahan beban yang berusaha membelah kayu.

8.8 PENGUJIAN SIFAT KAYU

Pengambilan contoh uji

Secara umum kayu yang akan diuji harus merupakan contoh yang mewakili dari kayu tersebut. Contoh uji sebaiknya diambil dari kayu yang masih berbentuk kayu bulat (log) karena lebih mudah menentukan jenis kayunya. Sebaliknya contoh uji yang sudah berbentuk kayu gergajian harus dapat dipastikan terlebih dahulu jenis kayunya. Cara pengambilan contoh uji dari kayu bulat, pemotongannya harus mengikuti pola seperti gambar 5.1. ukuran contoh uji 6 cm x 6 cm panjang 1,2 meter.



Gambar 5.1. Pola Pemotongan Contoh Uji Kayu Bulat

Cara Pengujian Sifat Mekanik kayu

a. Pengujian Kuat Lentur

Jumlah benda uji untuk uji lentur kayu adalah sebanyak 6 benda uji pada setiap 1 kayu. Ukuran benda uji berupa batang 5 cm x 5 cm x 76 cm. Jarak tumpuan antara pisau penumpu adalah 70 cm. Kedua pisau penumpu harus diletakkan di atas pelat landasan rol yang besarnya tidak lebih tebal dari ukuran tebal benda uji. Benda uji diletakkan sedemikian hingga bebannya terletak pada arah tangensial. Kecepatan pembebanan diberikan secara teratur dengan penurunan 2,5 mm/menit. Kurva lendutan harus dibuat sampai benda uji tidak dapat menahan beban mencapai 90 kg atau defleksi sebesar 15 cm. Pengukuran defleksi dilakukan di tengah benda uji.

Benda uji yang rusak atau putus akibat beban lentur harus diterangkan bentuk atau sifat kerusakannya, misalnya putus arang, terjadi serabut, belah/pecah, dll.

b. Pengujian Kuat Tekan Sejajar Serat.

Jumlah benda uji sebanyak satu buah dari setiap batang uji kayu. Benda uji dibuat dengan ukuran 5 x 5 x 20 cm. Benda uji diletakkan pada mesin uji tekan sehingga arah beban tekan benar-benar sejajar dengan arah serat. Kecepatan pembebanan diberikan secara teratur sebesar 0,003 cm/cm panjang benda uji/menit. Misal panjang benda uji 20 cm maka kecepatan pembebanan yang diberikan sebesar $0,003 \times 20 = 0,06$ cm/menit. Bentuk kerusakan dari benda uji harus dicatat, belah, retak, tertekuk, ujungnya menyerabut, dll. Setelah benda uji ditekan, segera ditimbang, dipotong sebagian (2,5 cm) untuk pengujian kadar airnya.

c. Kuat Tekan Tegak Lurus Serat

Jumlah benda uji diambil sebanyak 50 % dari jumlah benda uji kuat lentur. Ukuran benda uji 5 x 5 x 15 cm. Pembebanan dilakukan melalui pelat dengan lebar 5 cm yang dipasang melintang dari panjang benda uji dan tepat di tengahnya. Arah beban harus diusahakan sejajar dengan lapisan tekan arah radial. Kecepatan pembebanan dilakukan secara teratur sebesar 0,3 mm/menit.

d. Uji Kekerasan

Jumlah benda uji diambil sebanyak 50 % dari jumlah benda uji kuat lentur. Ukuran benda uji 5 x 5 x 15 cm berjumlah 2 buah ditekan tangensial dan 2 buah ditekan radial. Uji kekerasan digunakan bola baja dengan garis tengah kurang lebih 1,3 cm atau batang baja dengan garis tengah 1,3 cm ujungnya dibulatkan. Batang baja ini dibenamkan kepada baja balok sehingga yang tersembul hanya setengah lingkaran dari bola itu. Pengujian dilakukan dalam arah melintang (tangensial) dan arah radial. Kecepatan pembebanan 6 mm/menit.

e. Kuat Geser Sejajar Serat

Benda uji dibuat dengan dua jenis ukuran, yaitu 5 x 5 cm dan 5 x 6,3 cm agar diperoleh bidang geser 5 x 5 cm. Benda uji diletakkan dalam balok uji sehingga bidang yang ditekan berukuran kurang lebih 5 x 3 cm. Tekanan dilakukan dengan kecepatan 0,6 mm/menit sampai benda uji tergeser penuh. Bentuk geseran diamati dan dilaporkan.

f. Tahan Sobek (belahan)

Benda uji dibuat ukuran 5 x 5 x 9,4 cm dan pada bagian ujung yang satunya digerek (dibor) dengan garis tengah 13 mm (1/2"). Jarak sisi gerek memanjang dari benda uji adalah 75 mm. Cara pengujian dilakukan dengan cara pada bagian yang digerek dipasang pada mesin uji dengan alat penarik khusus, yang masuk tepat pada lubang gerek tersebut, lalu benda uji ditarik (dirobek). Kecepatan tarikan sebesar 2,5 mm/menit. Bentuk robekan diamati dan dicatat.

g. Kuat Tarik Tegak Lurus Serat

Benda uji dibuat dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm dan pada ujung-ujungnya dibor dengan diameter 13 mm. Benda uji diletakkan pada mesin uji dengan alat penarik khusus dan benda uji ditarik sampai terbelah menjadi 2. Kecepatan penarikan sebesar 2,5 mm/menit. Amati bentuk bekas tarikan dan dicatat.

h. Kuat Tarik Sejajar Serat

Benda uji dibuat memanjang. Kemudian benda uji diletakkan pada mesin uji tarik. Pertambahan panjang benda uji diukur dengan alat ukur perpanjangan yang diletakkan pada jarak 5 cm di tengah benda uji. Kecepatan tarikan sebesar 1 mm/menit.

Kayu Buatan

Kayu buatan adalah kayu yang bentuk dan sifatnya tidak seperti kayu yang berasal dari alam, tetapi sudah diolah di pabrik baik secara manual maupun dengan mesin. Kayu buatan terdiri dari kayu lapis (plywood), papan partikel, papan kayu semen dan papan serat (fibre board).

a. Kayu Lapis (*plywood*)

Kayu lapis merupakan panel (papan) yang terbuat dari lembaran-lembaran kayu (lapisan vineer) yang direkatkan menyatu sampai mencapai ketebalan tertentu. Cara pembuatan kayu lapis, terdiri dari :

- Pembuatan vineer, pembuatan vineer dilakukan dengan cara mengupas balok kayu dengan mesin dengan ketebalan $1/7 - 1/20$ inchi. Vineer yang sudah dikupas dikeringkan dengan coveyor drier sampai mencapai kadar air 12 % – 15 %. Vineer yang sudah dikeringkan dipotong sesuai dengan ukuran kayu lapis yang akan dibuat.
- Pemberian perekat. Pemberian perekat pada lembaran vineer dilakukan dengan menggunakan alat berbentuk rol. Perekat yang digunakan biasanya perekat urea formaldehida, casein dan phenol formaldehida. Biasanya tiap 1 kg perekat dapat melumasi permukaan vineer $5 \text{ m}^2 - 6 \text{ m}^2$.
- Penyusunan vineer. Lembaran vineer yang sudah diberi perekat kemudian disusun saling silang menyilang dan disusun dengan jumlah ganjil. Tujuannya adalah agar didapatkan kayu lapis yang memiliki sifat jauh lebih baik dari kayu aslinya, seperti tahan susut, tidak mudah pecah dan memiliki kuat tarik tinggi. Penyusunan vineer membutuhkan waktu ± 15 menit.
- Pengepresan. Lembaran vineer yang sudah disusun kemudian dipres dengan menggunakan mesin pres panas dengan tekanan $7 - 14 \text{ kg/cm}^2$ pada suhu 150°C .
- Finishing. Kayu lapis yang sudah dipres dan didinginkan, dipotong sisi-sisinya sesuai dengan ukuran di perdagangan.

b. Papan Kayu Semen (Yumen)

Papan buatan yang terbuat dari serutan/limbah kayu dicampur dengan semen kemudian dicetak dan dipres dingin. Sebelum kayu digunakan, kadar pati dalam kayu dihilangkan terlebih dahulu karena akan menghambat pengikatan semen, dilakukan dengan cara merendam kayu dalam larutan kapur. Kelebihan yumen ini adalah tahan api/tidak mudah terbakar, mudah dipaku dan dibentuk, memiliki daya sekat panas dan suara yang baik.

Yumen ini biasanya dibuat dengan ketebalan 15 mm – 100 mm dengan lebar 500 mm dan panjang 2000 mm. Adapun standar Yumen menurut standar Jerman (DIN 1101) adalah sebagai berikut :

- Memiliki berat antara 8,5 – 36 kg/cm².
- Berat Isi 360 kg/m³ sampai dengan 570 kg/m³.
- Kuat lentur minimum 17 kg/cm²
- Untuk ketebalan di atas 25 mm, bila diberi tekanan 3 kg/cm² pengurangan tebalnya maksimum 20 %.
- Memiliki daya sekat panas maksimum 0,08 k cal/m.h.°C.

c. Papan Partikel

Papan yang terbuat dari partikel kayu dan perekat yang biasanya berupa perekat urea formaldehida atau phenol formaldehida, kemudian dipres panas. Papan partikel ini memiliki sifat mudah terbakar, kuat lentur cukup tinggi, kekuatannya seragam, mudah digergaji dan dipaku, permukaannya licin dan keras. Bila perekat yang digunakan tidak tahan terhadap pengaruh air maka papan partikel yang dihasilkan pengembangan tebalnya tinggi dan daya serap airnya juga tinggi. Oleh karena itu sebaiknya papan ini digunakan di tempat-tempat terlindung. Ketebalan partikel antara 9 mm – 40 mm dengan lebar 1200 mm dan panjang 2400 mm.

d. Papan serat (fibre board)

Papan serat terbuat dari serat kayu (bubur kayu) yang dicampur perekat urea formaldehida atau phenol formaldehida kemudian dipres panas. Jenis papan serat terdiri dari soft board, digunakan sebagai peredam suara dan hardboard. Biasanya diproduksi dengan ketebalan 3 mm – 6 mm.

BAMBU

Bambu sudah sejak lama dikenal sebagai bahan bangunan. Pada daerah-daerah pedesaan bambu banyak digunakan penduduk untuk membuat rumah tinggal. Konstruksi dari bambu banyak digunakan di pedesaan karena mempunyai beberapa kelebihan, yaitu : bambu mudah didapat dan harganya murah, dapat dikerjakan dengan alat-alat sederhana, pertumbuhannya cepat.

8.9. JENIS-JENIS BAMBU, SIKLUS HIDUP, ANATOMI BAMBU

a. Siklus Hidup Bambu

Bambu merupakan jenis tanaman yang tumbuh di daerah tropis dan sub tropis. Bambu biasanya dapat hidup dan tersebar di daerah Asia Pasifik, Afrika dan Amerika (pada garis 46 ° LU sampai 47° LS). Bambu dapat tumbuh dengan baik di daerah yang beriklim lembab dan panas. Bambu termasuk tumbuhan jenis gramineae (suku rumput-rumputan) yang mempunyai ciri-ciri berdaun tunggal, berbentuk pita yang tersusun berselang seling pada rantingnya, batang beruas-ruas, berakar serabut dan mempunyai rimpang.

Bambu tumbuh dimulai dari tunas yang berasal dari disarm batang yang sudah tua. Tunas ini tumbuh secara perlahan pada awalnya, kemudian tumbuh cepat pada musim hujan sampai mencapai ½ dari tingginya. Bambu mengalami masa pertumbuhan yang cepat selama 4 sampai 6 bulan. Segera setelah tinggi maksimum tercapai, terjadi pengkayuan ranting (terbentuknya batang bambu) yang berlangsung selama 2 sampai 3 tahun. Batang bambu akan masak setelah berumur 6 sampai 9 tahun.

Dalam pertumbuhannya, bambu belum diusahakan secara perkebunan, tapi tumbuhnya masih dibiarkan secara liar di pekarangan maupun di hutan. Di daerah pedesaan, biasanya bambu ditanam hanya untuk keperluan membuat kerajinan rumah tangga atau untuk membuat rumah-rumah sederhana.

Untuk mengembangkan bambu biasanya digunakan bibit berupa stek. Pengembangbiakan bambu dengan biji tidak efisien karena membutuhkan waktu yang lama. Stek yang dipakai dapat diambil dari tiga bagian kayu, yaitu :

- stek dari batang, Stek ini yang paling sering digunakan. Caranya yaitu dengan jalan memotong bamboo pada pangkal dekat akar kemudian diambil ke atas sekitar satu atau dua ruas yang ada kuncup tidurnya. Sisanya di atas dapat dipotong-potong lagi dan minimum harus terdapat dua mata tidurnya. Yang perlu diperhatikan adalah bamboo yang distek adalah bamboo yang masih muda kira-kira berumur satu tahun.
- stek dari cabang, didapat dengan jalan memotongi ruas bamboo yang telah tumbuh cabangnya, kemudian cabang dipotong bagian atasnya dihilangkan daunnya dan ranting-ranting kecil lainnya.
- stek dari bonggol akar, didapat dengan jalan membongkar bonggol-bonggol bambu dari bamboo yang baru dipotong, kemudian bonggol itu dipisahkan satu sama lainnya. Stek bonggol ini juga yang sering dilaksanakan karena lebih kuat daya tumbuhnya.

Agar didapatkan hasil pertumbuhan yang baik maka harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- Batang, cabang dan bonggol yang distek diambil dari bamboo yang baru dipotong.
- Sebelum ditanam, disemaikan dulu sampai keluar akarnya. Penyemaianya harus di tempat yang teduh dan harus selalu disiram air.
- Penanamannya sebaiknya pada musim penghujan karena stek-stek tersebut mudah mati bila kekurangan air. Penanamannya sebaiknya dibuat condong dan dengan kedalaman penanaman lebih kurang 10 cm.
- Penanamannya diusahakan di tempat yang teduh agar terhindar dari terik matahari langsung, sehingga tidak mudah layu.

b. Anatomi Bambu

Batang bambu terdiri dari ruas (nodia) dan buku (internodia). Sel-sel batang mempunyai orientasi aksial dan tidak memiliki sel radial. Bagian luar terdiri dari satu sel epidermis dan bagian dalam terdiri dari sel-sel sklerenkim. Struktur melintang hanya diisi oleh ikatan-ikatan pembuluh. Secara keseluruhan,

dinding bambu tersusun oleh 50 % jaringan parenkim, 40 % sel-sel serabut, 10 % pembuluh tapis dan ikatan pembuluh.

Unsur utama penyusun batang bambu adalah selulosa, hemiselulosa, lignin dan unsure tambahan seperti resin, tannin, lilin dan garam-garam anorganik. Komposisi masing-masing unsure tergantung dari spesies, kondisi pertumbuhan, umur bamboo dan bagian batang. Selama masa pertumbuhan pada tahun pertama sejak dari tunas, proporsi lignin dan karbohidrat tidak tertentu tetapi setelah melewati masa tersebut komposisi kimia bambu cenderung tetap. Pada musim penghujan kandungan pati pada bambu lebih tinggi daripada pada musim kemarau.

c. Jenis-jenis Bambu

Bambu merupakan jenis tanaman gramineae (golongan rumput-rumputan). Jenis bamboo di seluruh dunia ada 600 jenis. 31 jenis bamboo terdapat di pulau Jawa, sedangkan jenis bamboo yang dapat digunakan untuk bahan bangunan ada 10 jenis. Adapun jenis-jenis bamboo yang dapat digunakan untuk bahan bangunan adalah :

- Bambu Ater, bamboo ini mempunyai warna buluh hijau tua. Tingginya dapat mencapai 15 meter dan banyak tumbuh di P. Jawa terutama di dataran-dataran rendah. Kegunaan bamboo ini antara lain : untuk pipa air, dinding rumah, pagar, alat musik dan alat-alat rumah tangga.
- Bambu Petung. Tinggi batang bamboo ini dapat mencapai 20 meter, dengan garis tengah buluh sampai 20 cm dan panjang ruasnya 40-60 cm. Tebal dinding buluh 1-1,5 cm. Warnanya coklat muda keputih-putihan. Biasanya digunakan untuk bahan bangunan.
- Bambu Duri. Tinggi buluhnya sampai 20 m dengan garis tengah buluhnya 10 cm. Biasanya berwarna hitam dan banyak tumbuh di Jawa Timur. Tumbuhnya rapat dan banyak cabangnya. Biasanya digunakan sebagai bahan bangunan, anyaman dan bahan pembuatan kertas.

- Bambu Duri Ori. Bambu ini hamper sama dengan bamboo duri, bedanya cabang-cabangnya lebih renggang, warnanya gelap. Kegunaannya adalah untuk bahan bangunan, anyaman dan bahan pembuatan kertas.
- Bambu Gombong. Bambu ini berwarna hijau kekuning-kuningan. Tinggi buluhnya mencapai 20 meter dengan diameter 10 cm. Biasanya digunakan untuk bahan bangunan dan kerajinan.
- Bambu Sembilang. Tinggi buluhnya mencapai 30 meter dengan garis tengah 18 – 25 cm. panjang ruasnya 25 – 50 cm dengan tebal dinding buluh sampai 2,5 cm. Bambu ini dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan bangunan baik bangunan air maupun bangunan gedung.
- Bambu Talang. Bambu ini batangnya tegak dengan tinggi mencapai 15 m. Panjang ruas maksimum 50 cm, dengan garis tengah 8-10 cm. Warna buluhnya hijau muda, hijau tua dan kuning
- Bambu tutul. Tinggi buluh mencapai 12 meter, warnanya hijau pada saat bambu masih muda dan sering kali bergaris-garis kuning sejajar dengan buluhnya. Ketika dewasa muncul warna tutul coklat. Diameter buluhnya mencapai 10 cm. Bambu ini digunakan sebagai bahan dinding, alat-alat rumah tangga, kursi, hiasan dinding , tirai, dll.
- Bambu balcoa. Berasal dari India, dengan tinggi buluhnya mencapai 20 meter. Warna buluhnya putih. Biasanya digunakan untuk tiang-tiang rumah, jembatan, atau turap.
- Bambu plymorpha. Berasal dari Burma dengan tinggi buluh mencapai 30 meter, garis tengah 15 cm. Warna buluhnya hijau muda sampai hijau tua. Biasanya digunakan untuk konstruksi rumah dan jembatan.

8.10. SIFAT FISIK DAN MEKANIS BAMBU

Sifat Fisik Bambu

Bambu mempunyai sifat-sifat fisik sebagai berikut :

1. Pada proses pengeringan bambu yang belum dewasa sering retak dan mengisut.

2. Bagian dalam batang bambu biasanya lebih banyak mengandung kadar lengas (aur bebas) daripada bagian batang yang luar.
3. Buku-buku (knots) mengandung $\pm 10\%$ lebih sedikit air daripada ruas-ruas.
4. Menyerap banyak air sampai 300% .
5. Bambu tidak dapat dipercaya bila digunakan sebagai tulangan pada beton, karena bambu pada saat pengeringan menyusut, volumenya menurun sehingga lekatan dengan betonnya longgar.
6. Bambu pada umumnya tidak awet sehingga perlu dilakukan pengawetan terlebih dahulu sebelum digunakan.

Adapun data-data teknis mengenai sifat fisik bambu hasil penelitian adalah :

1. Penyusutan bambu yang ditebang pada musim hujan sampai keadaan kering udara adalah pada arah longitudinal sebesar $0,2 - 0,5\%$, arah tangensial sebesar $10 - 20\%$ dan arah radial sebesar $15 - 30\%$.
2. Berat jenis bambu kering udara adalah $0,60 - 1$
3. Kuat lekat antara bambu kering dengan beton berkisar antara $2 - 4 \text{ kg/cm}^2$.

Sifat-sifat mekanik bambu adalah sebagai berikut :

1. Tegangan tarik $600 - 4000 \text{ kg/cm}^2$
2. Tegangan tekan $250 - 600 \text{ kg/cm}^2$
3. Tegangan lentur $700 - 3000 \text{ kg/cm}^2$
4. Modulus elastisitas $100.000 - 300000 \text{ kg/cm}^2$

Bambu yang akan digunakan sebagai bahan bangunan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. Bambu harus tua, berwarna kuning jernih atau hijau tua dalam hal terakhir berbintik putih pada pangkalnya, berserat padat dengan permukaan yang mengkilap. Di tempat buku tidak boleh pecah.
2. Bambu yang telah direndam dalam air harus berwarna pucit tidak kuning, hijau atau hitam dan berbau asam yang khas, sedangkan bila dibelah di bagian dalam dari ruas tidak boleh terdapat rambut dalam yang biasanya terdapat pada bambu yang belum direndam.
3. Bambu untuk pelupuh dan barang anyaman seperti bilih, gendak, dll harus telah direndam dengan baik. Barang anyaman yang harus tahan lama harus

terbuat dari bambu dari jenis bambu yang terbaik dengan garis tengah minimum 4 cm dan harus terbuat dari bagian kulit dari bambu.

8.11. PENGOLAHAN BAMBU

Pengolahan bambu adalah mengolah bambu yang masih tumbuh di kebun/di hutan monad siap untuk digunakan atau diawetkan. Pengolahan bambu terdiri dari : menebang bambu, mengerjakan/mengolah menjadi suatu barang yang diinginkan misalnya dibuat anyaman untuk dinding, untuk kasau, dll.

Penebangan bambu.

Penebangan bambu sebaiknya dilakukan pada musim kemarau atau pada awal musim hujan, karena pada musim hujan banyak tunas yang tumbuh sehingga akan merusak tunas. Bambu yang ditebang adalah bambu yang sudah tua minimal berumur satu tahun.

Penebangan dilakukan dengan hati-hati agar bambu tidak pecah dan tidak merusak tunas. Penebangan dilakukan dengan alat parang, kapak atau gergaji potong. Bambu yang akan ditebang dikerati melingkar terlebih dahulu kurang lebih 25 cm dari muka tanah. Setelah itu bambu ditebang sedikit demi sedikit dan melingkar untuk menghindari bambu pecah. Kemudian cabang-cabangnya ditebang.

Pengawetan bambu

Pengawetan bambu bertujuan agar bambu bisa tahan lama dan tidak mudah diserang bubuk (insekta). Untuk mencapai tujuan tersebut maka getah yang terdapat dalam bambu harus dikeluarkan sehingga bambu monad awet, mempunyai daya lenting tinggi, tidak mudah patah dan mudah dianyam. Untuk mencegah bambu lapuk karena pengaruh cuaca dan serangan ham, bambu dilapisi dengan cat, kapur, ter atau vernis.

Pengawetan bambu pada dasarnya dilakukan dengan dua cara, yaitu :

- a. Dengan mengeluarkan getah yang terdapat dalam bambu dan memasukkan zat-zat yang tidak disukai serangga. Cara yang paling sederhana yang biasa dilakukan oleh masyarakat adalah dengan jalan merendam bambu dalam air

kurang lebih selama 2 bualn. Setelah bambu direndam kemudian dikeringkan di tempat yang teduh terhindar dari panas matahari. Selain merendam dengan cara di atas, dapat dilakukan juga dengan merendam bambu pada larutan 5 % asam boraks yang dimasukkan ke dalam air yang digunakan untuk merendam bambu.

- b. Dengan melapisi bambu dengan cat, vernis, kapur dan ter.

8.12. PEMAKAIAN BAMBU PADA BANGUNAN

Bambu dapat dipergunakan untuk berbagai macam keperluan, terutama untuk bahan bangunan. Konstruksi bangunan yang terbuat dari bambu biasanya sangat tahan terhadap gempa bumi karena strukturnya ringan dan elastis.

Penggunaan bambu pada bangunan antara lain :

- a. Untuk dinding rumah. Bambu yang digunakan untuk dinding biasanya dibelah dan dibuat anyaman. Jenis bambu yang cocok untuk anyaman adalah bambu ater, bambu petung, bambu tutul, bambu talang dan bambu polymorpha.
- b. Untuk rangka bangunan. Biasanya bambu digunakan untuk membuat kuda-kuda, reng dan usuk (kasau). Sambungannya menggunakan sambungan pen bambu, tali ijuk atau kombinasi keduanya. Jenis bambu yang cocok untuk konstruksi ini adalah bambu petung, bambu duri, bambu duri ori, bambu gombang, bambu sembilang dan bambu polymorpha.
- c. Untuk tiang. Bambu digunakan untuk tiang-tiang yang berfungsi untuk menempelkan dinding dari anyaman bambu, untuk tiang-tiang panggung penyangga kuda-kuda. Jenis ambungan yang digunakan adalah sambungan lubang dan pen bambu dikombinasikan dengan tali ijuk. Jenis bambu yang cocok adalah bambu petung, bambu duri, bambu duri ori, bambu gombang, bambu sembilang, bambu balcoa dan bambu polymorpha.
- d. Untuk lantai. Biasanya bambu dibuat anyaman atau bambu hanya dibelah saja kemudian dirapikan/ditata sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai lantai. Jenis bambu yang cocok untuk konstruksi ini adalah bambu petung, bambu ater, bambu talang, bambu gombang, bambu sembilang dan bambu balcoa.

- e. Untuk langit-langit. Jenis anyamannya sama dengan jenis anyaman dinding. Jenis bambu yang cocok untuk konstruksi ini adalah bambu petung, bambu talang, bambu gombang.
- f. Untuk konstruksi bekesting, tangga, dll.

RANGKUMAN :

- *Bagian-bagian kayu : kulit , kambium, kayu gubal, kayu teras, hati kayu, lingkaran tahun, jari-jari kayu.*
- *Kerusakan dan cacat pada kayu mengakibatkan kekuatan kayu menurun, harga kayu rendah serta mutu dan nilai pakai kayu menurun. Kerusakan pada kayu meliputi : retak-retak, pecah, belah, serangan jamur dan serangan serangga.*
- *Keawetan kayu adalah daya tahan suatu jenis kayu terhadap factor-faktor perusak kayu yang datang dari luar tubuh kayu itu sendiri. Keawetan kayu diselidiki pada bagian kayu terasnya. Cara pengawetan kayu meliputi : cara pemulasan/penyemprotan, cara rendaman dan tekanan/vakum.*
- *Sifat-sifat Fisik Kayu, yaitu : Berat Jenis, Keawetan alami kayu, Warna kayu, Higroskopik, Tekstur kayu, Berat kayu., Kekerasan, kerapatan/kepadatan, sifat mengembang dan menyusut.*
- *Sifat mekanik kayu meliputi : kuat tarik, kuat tekan, kuat geser, kuat lentur dan kuat belah.*
- *Jenis-jenis bambu : bambu apus, bambu ater, bambu duri, bambu gombang, bambu tutul, sembilang, balcoa, polymorpha.*
- *Penggunaan bahan untuk bahan bangunan adalah untuk dinding, tiang, rangka bangunan, lantai, perancah dan bekisting.*
- *Sistem sambungan pada bambu adalah dengan pen dan lubang serta tali ijuk.*

SOAL-SOAL LATIHAN :

1. Sebutkan fungsi dari bagian-bagian kayu !
2. Jelaskan pengaruh cacat dan kerusakan pada kayu !
3. Jelaskan pentingnya dilakukan pengawetan kayu !
4. Sebutkan cara pengawetan kayu dan jelaskan masing-masing cara tersebut !
5. Jelaskan bagaimana pengaruh cacat pada kayu terhadap sifat-sifatnya !
6. Jelaskan sifat-sifat fisik kayu !
7. Jelaskan sifat-sifat mekanik kayu !
8. Jelaskan cara pengujian sifat mekanik terutama kuat lentur kayu !
9. Jelaskan cara-cara pengawetan pada bambu !
10. Jelaskan penggunaan bambu dan sistem penyambungannya di bidang konstruksi bangunan !

DAFTAR PUSTAKA

Anonim , 1983. *Teknologi Bahan 1*. Bandung : PEDC.

Anonim , 1983. *Teknologi Bahan 2*. Bandung : PEDC.

Anonim , 1961. *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia*. Bandung : Yayasan Dana Normalisasi Indonesia DPU.

Latifa EA, 2003. *Teknologi Bahan 2*. Jakarta : Politeknik Negeri Jakarta.

Mulyono, T , 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi

Samekto W, 2001. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Kanisius.