

BAHAN AJAR

TEKNOLOGI BAHAN KONSTRUKSI

Kode : TSL 1062

Disusun oleh :

ELLEN J. KUMAAT

UNIVERSITAS SAM RATULANGI
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN SIPIL
2022

BAHAN AJAR

TEKNOLOGI BAHAN KONSTRUKSI
TSL 1062 / 2 SKS

Disusun Oleh:

Prof Dr Ir Ellen J. Kumaat MSc DEA

DAFTAR ISI

Kata Pengantar

Pokok-Pokok Materi Bahan Ajar

Rencana Evaluasi Proses Belajar Mengajar

Analisis Instruksional

- Bab I : Material Pembentuk Beton
- Bab II : Pengolahan Beton
- Bab III : Perancangan Campuran Adukan Beton
- Bab IV : Karakteristik Fisik dan Mekanik Beton
- Bab V : Proses Pembuatan dan Perilaku Baja
- Bab VI : Pengelasan Baja
- Bab VII : Sifat Material Kayu
- Bab VIII : Proses Pengawetan Kayu
- Bab IX : Sifat Bahan Polimer

Daftar Pustaka

KATA PENGANTAR

Buku ini merupakan kumpulan dari bahan-bahan yang diajarkan pada mata kuliah Teknologi Bahan Konstruksi (TSL 1062) yang diberikan kepada mahasiswa semester I di Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, sesuai dengan kurikulum yang diberlakukan saat ini.

Sebagian isi dari bahan ajar ini merupakan kutipan langsung, rangkuman atau ringkasan yang dipetik dari sejumlah buku acuan mengenai ilmu Teknologi Bahan Konstruksi. Dimaksudkan bahwa dengan memanfaatkan pemakaian bahan ajar ini dalam perkuliahan Teknologi Bahan Konstruksi, selain dapat dikembangkan konsep-konsep dasar didalam analisa dan perencanaan penggunaan material-material bangunan, juga diharapkan terjadinya kelancaran dalam proses belajar-mengajar antara mahasiswa dan pengajar.

Bahan ajar dari mata kuliah Teknologi Bahan Konstruksi ini menitik beratkan pada kerangka pemahaman sifat-sifat material yang berkaitan dengan pelaksanaan konstruksi teknik sipil, dan penyajiannya berisikan material beton, baja, kayu dan bahan polimer.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Pembinaan dan Pengembangan Pendidikan Unsrat, yang memberikan kesempatan terselenggaranya penulisan bahan ajar ini.

Bahan ajar ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik, saran dan masukan yang berarti sangat diharapkan.

Manado, Juni 2022

Penulis.

POKOK-POKOK MATERI BAHAN AJAR

BAB I : MATERIAL PEMBENTUK BETON

Uraian Umum :

Semen, agregat dan air adalah merupakan tiga material dasar pembentuk beton. Dengan demikian, mutu beton akan sangat tergantung pada perilaku material-material dasar tersebut. Pada hakikatnya, peran kuantitas semen, agregat dan air dalam pencampuran beton akan merupakan faktor penentu utama mutu beton ditinjau dari segi kekuatannya. Mutu beton akan semakin tinggi bila dapat digunakan jumlah air minimum yang diperlukan untuk proses hidrasi. Namun demikian dalam kenyataan, beton yang dihasilkan dengan jumlah air minimum tersebut akan sangat kaku sehingga sulit dalam teknik pelaksanaan. Untuk mengatasi masalah tersebut serta untuk maksud dan tujuan lainnya, digunakanlah bahan-bahan tambahan yang disesuaikan dengan kebutuhan dalam memperbaiki perilaku beton.

Prinsip Isi Materi :

- Karakteristik semen Portland, jenis semen Portland.
- Karakteristik agregat, bobot jenis agregat, bobot satuan dan kepadatan, ukuran butiran agregat, gradasi agregat, modulus kehalusan butir, penyerapan air oleh agregat, kadar air agregat, kekuatan dan keuletan agregat, bentuk agregat, tekstur permukaan butiran, persyaratan agregat.
- Pemakaian air pada beton.
- Bahan tambahan : kimia, pozolan, serat.

BAB II : PENGOLAHAN BETON

Uraian Umum :

Pengolahan beton dapat dilaksanakan secara konvensional --pencampuran beton secara manual-- atau dengan menggunakan mesin pengaduk. Mutu beton pada dasarnya juga dipengaruhi oleh teknik pengolahan beton itu sendiri seperti pencampuran, penuangan, pemadatan, perawatan dan lain sebagainya.

Prinsip Isi Materi :

- Pengadukan beton : pengadukan dengan tangan dan dengan mesin.
- Pengangkutan adukan beton.

-
- Penuangan adukan beton.
 - Pemadatan adukan beton : secara manual dan dengan bantuan alat getar.
 - Perawatan beton.
 - Sifat beton segar.

BAB III : PERANCANGAN CAMPURAN ADUKAN BETON

Uraian Umum :

Beton pada umumnya dapat diklasifikasikan menurut berat dan tingkat kekuatan beton yang berkaitan erat dengan mutu beton. Untuk mendapatkan mutu beton yang diinginkan, maka perlu adanya suatu perancangan campuran adukan beton yang pada dasarnya sangat ditentukan oleh kualitas material pembentuk beton. Perlu dipahami bahwa, mutu beton yang diproduksi mengikuti suatu komposisi beton hasil rancangan campuran akan dapat berfluktuasi tergantung dari teknik pengolahan dan kondisi-kondisi lain di tempat-tempat kerja.

Prinsip Isi Materi :

- Perancangan campuran adukan beton menurut “Road Note No. 4”.
- Perancangan campuran menurut “American Concrete Institute”.
- Perancangan campuran menurut “Cara Inggris”.
- Perancangan campuran menurut “Cara Copba-coba”.
- Perancangan campuran menurut “Cara di Laboratorium”.

BAB IV : KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK BETON

Uraian Umum :

Dari sekian banyak karakteristik material beton, karakteristik-karakteristik fisik dan mekanik adalah merupakan perilaku material beton yang cukup dominan dalam menentukan kelayakan material beton untuk digunakan sebagai material pembentuk komponen-komponen struktur. Karakteristik-karakteristik material dan struktural dari material beton pada hakikatnya hanya dapat diperoleh melalui penelitian-penelitian eksperimental di laboratorium yang kemudian dirumuskan dalam bentuk persamaan-persamaan tipik untuk digunakan dalam perencanaan struktur beton.

Prinsip Isi Materi :

- Kuat tekan beton.
- Kuat tarik beton.
- Modulus elastisitas.

- Susut dan rangkai beton.
- Karakteristik regangan.
- Kekuatan leleh.

BAB V : PROSES PEMBUATAN DAN PERILAKU BAJA

Uraian Umum :

Material baja adalah merupakan suatu produk industri yang banyak digunakan dalam pekerjaan-pekerjaan teknik sipil terutama disebabkan oleh perilaku daktil serta kemampuannya dalam menerima tekan dan tarik. Perpaduan antara baja --yang umumnya berperilaku sama terhadap tarik dan tekan, tetapi harga baja lebih mahal dari beton-- dan beton --yang sangat baik untuk menerima kekuatan tekan-- akan dapat menghasilkan komponen-komponen struktur komposit yang efisien dan ekonomis.

Prinsip Isi Materi :

- Proses dasar pembuatan baja.
- Perkembangan proses pembuatan baja.
- Proses pembuatan baja secara modern.
- Jenis baja karbon.
- Baja paduan.
- Pengaruh unsur campuran.
- Perlakuan panas pada baja.

BAB VI : PENGELASAN BAJA

Uraian Umum :

Pekerjaan pengelasan sering dilakukan dalam konstruksi baja di samping sistem penyambungan dengan baut. Penyambungan dengan las akan menghasilkan sambungan yang lebih kaku --dibanding penyambungan dengan baut-- sehingga akan lebih banyak menyerap energi. Kegagalan sistem penyambungan las selain disebabkan oleh teknik dan mutu sambungan las, juga akibat cacat yang mungkin terjadi pada las.

Prinsip Isi Materi :

- Jenis proses pengelasan.
- Jenis sambungan.

- Macam-macam las.
- Faktor-faktor yang mempengaruhi mutu sambungan las.
- Cacat yang mungkin terjadi pada las.

BAB VII : SIFAT MATERIAL KAYU

Uraian Umum :

Kayu adalah merupakan salah satu material bangunan yang sering digunakan dalam bidang rekayasa sipil selain material baja dan beton. Perilaku material kayu sangat tergantung dari jenis serta mutu kayu selain faktor kelembaban lingkungan.

Prinsip Isi Materi :

- Pengertian dan pemanfaatan material kayu
- Sifat fisik, sifat higroskopis dan sifat mekanik.
- Tingkat keawetan dan kekuatan kayu.

BAB VIII : PROSES PENGAWETAN KAYU

Uraian Umum :

Kayu sangat mudah mengalami kerusakan atau degradasi yang diakibatkan oleh rayap, kumbang, cendawan dan lain sebagainya. Oleh sebab itu, salah satu cara untuk dapat memberikan jaminan terhadap mutu kayu adalah dengan proses pengawetan sekaligus dapat memperpanjang usia pemakaiannya sebagai material struktur.

Prinsip Isi Materi :

- Sifat kayu yang diawetkan.
- Proses pengawetan kayu.
- Metoda-metoda melindungi kayu terhadap kerusakan cendawan, rayap, kumbang, kadar lengas, keausan mekanik dan pelapukan.

BAB IX : SIFAT BAHAN POLIMER

Uraian Umum :

Sejalan dengan perkembangan teknologi dalam bidang rekayasa sipil, bahan polimer mulai memantapkan tempatnya sebagai bahan bangunan disebabkan oleh beratnya yang sangat ringan dibandingkan dengan material lainnya sehingga akan memberikan

nilai ekonomis yang tinggi. Selain keunggulan dalam bobot yang ringan, kuat tekan dan tarik yang tinggi, material polimer memiliki kelemahan yakni, sifat getas.

Prinsip Isi Materi :

- Sifat mekanik, termal, listrik dan kimia bahan polimer.

RENCANA EVALUASI PROSES PEMBELAJARAN

1. Tujuan evaluasi :
 - Mengetahui persepsi mahasiswa terhadap kemampuan dosen dalam menyelenggarakan PBM dalam mata kuliah Teknologi Bahan Konstruksi;
 - Mencari masukan dari mahasiswa tentang media yang dipakai dalam PBM selama ini sudah sesuai dengan kebutuhan dan efisien-efektif;
 - Kemampuan mahasiswa menerima materi dalam PBM;
 - Mencari masukan tentang kualitas materi perkuliahan yang diberikan oleh dosen.

2. Hal-hal yang dievaluasi :
 - ⇒ Dosen :
 - Penguasaan dosen terhadap mata kuliah
 - Cara mengajar dosen
 - Kemampuan dosen dalam bertanya
 - Kemampuan dosen berdialog dengan mahasiswa.

 - ⇒ Mahasiswa :
 - Keefektifan cara belajar mahasiswa
 - Mengukur prestasi mahasiswa
 - Keaktifan mahasiswa dalam kelas maupun kelompok.

 - ⇒ Media :
 - Media yang dipakai sesuai dengan materi yang dibahas
 - Media yang dipakai cukup merangsang keingintahuan mahasiswa.

 - ⇒ Kualitas materi perkuliahan :
 - Kemuktahiran materi perkuliahan dan bahan bacaan
 - Sistimatik materi perkuliahan
 - Mutu tugas
 - Mutu soal-soal ujian.

3. Evaluator :
 - Dosen
 - Mahasiswa

4. Responden :
 - Dosen dan mahasiswa peserta mata kuliah Teknologi Bahan Konstruksi.

5. Rencana evaluasi proses belajar mengajar

6. Pengumpulan data :
 - Data dan informasi yang berhasil dapat dikelompokkan sesuai dengan jenis responden yaitu mahasiswa, dosen ybs. Kemudian

untuk mempermudah didalam analisa data maka data tersebut disajikan dalam bentuk table. Pada saat itu diadakan analisa apakah jawaban yang masuk sesuai dengan tujuan pengumpulan data. Jika jawabannya adalah ya maka dapat dilanjutkan dengan analisa dan interpretasi data, tapi jika belum mencapai tujuan/target atau terdapat kekurangan data maka dapat diadakan pertanyaan atau observasi tambahan.

7. Analisis dan interpretasi data :

- Dengan cara mencari total skor dan skor rata-rata. Untuk pertanyaan dengan jawaban penjelasan dapat dilakukan analisa deskriptif dengan teknik korelasi.

8. Tindak lanjut :

Ada tiga kegiatan setelah proses evaluasi selesai dilaksanakan :

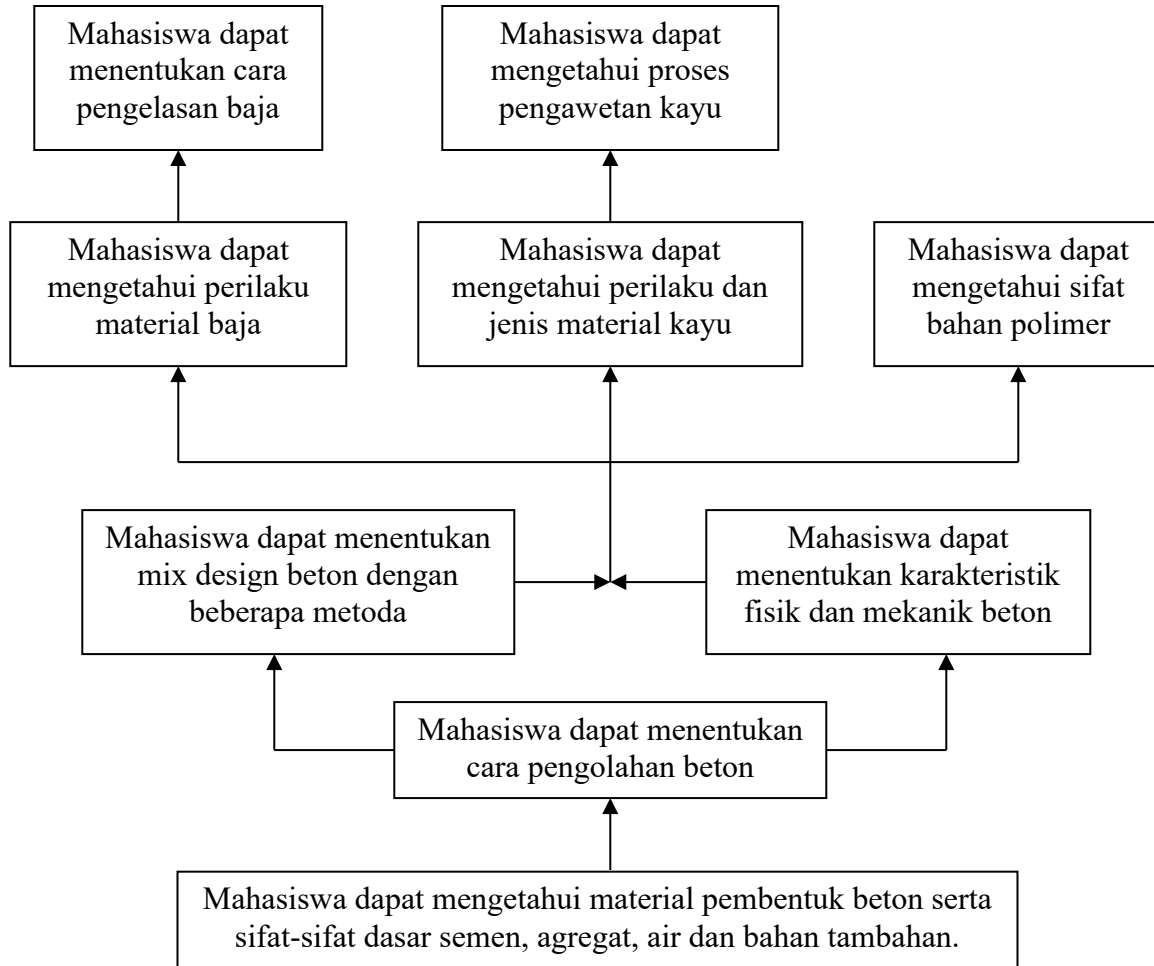
- Melaporkan hasil evaluasi kepada tim pengajar matakuliah Bahan Bangunan;
- Mengambil keputusan instruksional;
- Mengadakan meta evaluasi.

ANALISIS INSTRUKSIONAL (AI)

Mata kuliah : Teknologi Bahan Konstruksi
Kode mata kuliah : TSL 1062
SKS : 2
Semester : I

Tujuan Instruksional Umum :

Setelah menyelesaikan mata kuliah Teknologi Bahan Konstruksi, mahasiswa dapat mengetahui dan memahami perilaku material-material bangunan yang dapat digunakan dalam perencanaan komponen struktur dalam bidang rekayasa sipil.



ENTRY BEHAVIOR :

Pelajaran Sekolah Menengah Umum

BAB I

MATERIAL PEMBENTUK BETON

Topik ke : I

Judul topik : Material Pembentuk Beton

Waktu : 6 jam kuliah

Tujuan :

1. Tujuan Instruksional Umum:

Mahasiswa dapat mengetahui material dasar pembentuk beton

2. Tujuan Instruksional Khusus:

Setelah mengikuti uraian penjelasan pada bagian ini, mahasiswa dapat mengetahui dan memahami perilaku material-material dasar pembentuk beton : semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambahan.

Pokok Bahasan : Menguraikan sifat material pembentuk beton

Sub Pokok Bahasan :

1. Menguraikan karakteristik semen
2. Menguraikan karakteristik agregat kasar
3. Menguraikan karakteristik agregat halus
4. Menjelaskan pemanfaatan air
5. Menguraikan bahan tambahan

Pustaka :

1. Tjokrodinuljo K, “Teknologi Beton”, Nafiri, Yogyakarta, 1996
2. Sagel R., Kole P., Kusuma Gideon, “Pedoman Pengerjaan Beton” Berdasarkan SKSNI-T15-1991-03.Seri Beton 2, Erlangga, Jakarta, 1994.
3. Vis - Kusuma, “Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang”,1994.
4. Richards C.W, “Engineering Materials Science”, Belmont, California,1961.

BAB I

MATERIAL PEMBENTUK BETON

1. SEMEN PORTLAND

Semen portland ialah jenis bahan yang dihasilkan dengan cara menghaluskan terak yang terutama terdiri dari batu gamping, kapur dan tinambah lainnya

Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen, dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang khusus. Semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adukan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar semen dan jika ditambah lagi dengan kerikil/ batu pecah disebut beton.

Bahan-bahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air, sedangkan yang pasif yaitu pasir dan kerikil (disebut agregat, agregat halus dan agregat kasar). Kelompok yang pasif disebut bahan pengisi sedangkan yang aktif disebut perekat/pengikat. Istilah perekat tampaknya lebih cocok mengingat fungsinya seperti lem, bukan seperti tali yang biasa untuk mengikat kayu bakar atau jerami.

Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga antara butir agregat. Walaupun semen hanya kira-kira mengisi 10 persen saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan yang aktif maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah.

1.1 SEJARAH SEMEN PORTLAND

Nama *portland cement* diusulkan oleh Joseph Aspdin pada tahun 1824. Nama itu diusulkan karena berbentuk bubuk yang dicampur dengan air, pasir dan batu-batuan yang ada di pulau Portland, Inggris. Pertama kali semen portland diproduksi (dengan pabrik) di Amerika Serikat oleh David Saylor di kota Coplay, Pennsylvania, pada tahun 1875.

1.2 SIFAT-SIFAT SEMEN PORTLAND

Perbedaan sifat jenis semen satu terhadap semen yang lain dapat terjadi karena perbedaan susunan kimia maupun kehalusan butir-butirnya.

(a) Susunan kimia

Bahan dasar semen terdiri adalah batu gamping, kapur dengan ditambah seperti gipsum.

Pada dasarnya, ada 4 unsur yang paling penting, yakni :

- a. Trikalsium silikat ($C_3 S$) atau $3 CaO.SiO_2$
- b. Dikalsium silikat ($C_2 S$) atau $2 CaO.SiO_2$
- c. Trikalsium aluminat ($C_3 A$) atau $3CaO.Al_2 O_3$
- d. Tetrakalsium aluminoforit ($C_4 AF$) atau $4CaO.Al_2 O_3.Fe_2 O_3$

Dua unsur yang pertama (a dan b) biasanya merupakan 70 sampai 80 persen dari semen sehingga merupakan bagian yang paling menonjol dalam menentukan daya ikat semen.

(b) Hidrasi Semen

Semen bersentuhan dengan air maka proses hidrasi berlangsung, dalam arah ke luar dan ke dalam. Hasil hidrasi mengendap di bagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi di bagian dalam, secara bertahap terhidrasi, sehingga volumenya mengecil. Reaksi tersebut berlangsung lambat, antara 2 - 5 jam (yang disebut periode induksi atau tak aktif) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah.

Pada tahapan hidrasi berikutnya, pasta semen terdiri dari gel (suatu butiran sangat halus hasil hidrasi, memiliki luas permukaan yang amat besar), dan sisa-sisa semen yang tak bereaksi, kalsium hidroksida $Ca(OH)_2$, dan air, dan beberapa senyawa yang lain. Kristal-kristal dari berbagai senyawa yang dihasilkan membentuk suatu rangkaian tiga dimensi yang saling merekat secara random dan kemudian sedikit demi sedikit mengisi ruangan yang mula-mula ditempati air, lalu menjadi kaku dan munculah suatu kekuatan yang selanjutnya mengeras menjadi benda yang padat dan kuat.

(c) Kekuatan Pasta Semen dan Faktor Air-Semen

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang dipakai waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi hanya kira-kira 25 persen dari berat semennya, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras. Air kelebihan dari yang diperlukan untuk proses hidrasi pada umumnya memang diperlukan pada pembuatan beton, agar adukan

beton dapat campur dengan baik, diangkut dengan mudah, dan dapat dicetak tanpa rongga-rongga yang besar (tidak keropos). Akan tetapi, hendaknya selalu diusahakan jumlah air sesedikit mungkin, agar kekuatan beton tidak terlalu rendah. Seperti telah diuraikan di depan, pasta semen yang mengeras merupakan bagian yang porous. Konsentrasi hasil-hasil hidrasi yang padat pada seluruh ruang atau volume yang tersedia (volume yang semula ditempati oleh air dan semen) merupakan suatu nilai indeks porositas. Sebagaimana benda padat yang lain, kuat tekan pasta semen (juga betonnya) sangat dipengaruhi oleh besar pori-pori diantara gel-gel atau pori-pori hasil hidrasi. Kelebihan air akan mengakibatkan pasta semen berpori lebih banyak, sehingga hasilnya kurang kuat dan juga lebih porous (berpori).

(d) Sifat Fisik Semen

Semen Portland yang dipakai untuk struktur harus mempunyai kualitas tertentu yang telah ditetapkan agar dapat berfungsi secara efektif. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan, baik yang masih berbentuk bubuk kering maupun yang pasta semennya yang sudah keras, juga betonnya yang dibuat dari semen tersebut. Sifat-sifat fisik semen yang penting yaitu :

Kehalusan butir. Kehalusan butir reaksi antara semen dan air dimulai dari permukaan butir-butir semen, sehingga makin luas permukaan butir-butir semen (dari berat semen yang sama) makin cepat proses hidrasinya. Hal ini berarti bahwa, butir-butir semen yang halus akan menjadi kuat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih cepat dari pada semen dengan butir-butir yang lebih kasar. Secara umum, semen berbutir halus meningkatkan kohesi pada beton segar (*fresh concrete*) dan dapat pula mengurangi bleeding, akan tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut. Menurut SII 0013-81, paling sedikit 90% berat semen harus dapat lewat ayakan lubang 0,09 mm. Namun perlu dicatat, bahwa jika butir-butir semen terlalu halus, sifat semen akan menjadi kebalikannya, karena terjadi hidrasi awal oleh kelembaban udara.

Waktu Ikatan. Semen jika dicampur dengan air membentuk bubur yang secara bertahap menjadi kurang plastis, dan akhirnya menjadi keras. Pada proses ini, tahap pertama dicapai ketika pasta semen cukup kaku untuk menahan suatu tekanan. Waktu untuk mencapai tahap ini disebut sebagai waktu ikatan. Waktu tersebut dihitung sejak air dicampur dengan semen. Waktu ikatan dibagi menjadi dua bagian, yaitu waktu ikatan awal (*initial time*) dan waktu ikatan akhir (*final setting time*). Waktu dari

pencampuran semen dan air sampai saat kehilangan sifat keplastisannya disebut waktu ikatan awal, dan waktu sampai mencapai pastanya menjadi massa yang keras disebut waktu ikatan akhir. Pada semen Portland biasa waktu ikatan awal tidak boleh kurang dari 60 menit, dan waktu ikatan akhir tidak boleh lebih dari 480 menit (8 jam).

Pengertian waktu ikatan awal. Pengertian waktu ikatan awal adalah penting pada pekerjaan beton. Waktu ikatan awal yang cukup lama diperlukan untuk pekerjaan beton, yaitu waktu transportasi, penuangan, pemadatan, dan perataan permukaan. Proses ikatan ini disertai perubahan temperatur. Temperatur naik dengan cepat dari ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikatan yang pendek kenaikan temperatur dapat sampai 30 derajat celcius. Dalam praktek lama waktu ikatan ini dipengaruhi oleh jumlah air campuran yang digunakan dan suhu udara disekitarnya.

Berat jenis. Berat jenis semen berkisar pada 3,15. Berat jenis digunakan dalam hitungan perbandingan campuran.

1.3 JENIS-JENIS SEMEN PORTLAND

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia [SII 001381] dibagi menjadi 5 jenis, yaitu :

- Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikat terjadi.
- Jenis IV : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Semen portland Pozolan. Semen Portland Pozolan dapat diproduksi dengan salah satu cara dari dua cara berikut.

Cara pertama menggiling bersama klinker semen dan pozolan dengan bahan tambah gips atau kalsium sulfat.

Cara kedua dengan mencampur sampai rata gerusan semen dan pozolan halus. Penggilingan dua material secara bersama-sama pada cara pertama lebih mudah daripada mencampur bubuk kering secara baik sebagaimana pada cara kedua. Pencampuran bubuk kering pada cara kedua hanya dilakukan jika cara penggilingan ternyata tidak ekonomis, serta mesin pencampur yang ada dapat menjamin keseragaman hasil pencampurannya.

Semen Portland Pozolan menghasilkan panas hidrasi lebih sedikit dari pada semen biasa. Sifat Ketahanan terhadap kotoran dalam air lebih baik, sehingga cocok sekali jika dipakai untuk bangunan dilaut, bangunan pengairan, dan beton massa.

2 . AGREGAT

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

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan ialah dengan didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Sebagai batas antara ukuran butir yang kasar dan yang halus tampaknya belum ada nilai yang pasti, masih berbeda antara satu disiplin ilmu dengan disiplin ilmu yang lain, dan mungkin juga dari satu daerah dengan daerah yang lain. Dalam bidang teknologi beton nilai batas tersebut umumnya ialah 4,75 mm atau 4,80 mm. Agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,80 mm disebut agregat kasar, dan agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,80 mm disebut agregat halus. Secara umum, agregat kasar sering disebut sebagai kerikil, kericak, batu pecah, atau split, adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,20 mm kadang-kadang disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut silt, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut clay.

Dalam praktek agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu :

a. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.

- b. Kerikil untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm
- c. Pasir untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, keras, kuat dan gradasinya baik. Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi, dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca.

2.1 AGREGAT ALAMI DAN AGREGAT BUATAN

Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah (misalnya kerikil) atau dapat pula diperoleh dengan cara memecah batu alam.

Pasir alam terbentuk dari pecahan batu karena beberapa sebab. Pasir dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai, atau dari tepi laut. Oleh karena itu pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam :

- a. pasir galian
- b. pasir sungai, dan
- c. pasir laut.

- (a) Pasir galian. Pasir golongan ini diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam, tetapi biasanya harus dibersihkan dari kotoran tanah dengan jalan dicuci.
- (b) Pasir Sungai Pasir ini diperoleh langsung dari dasar sungai, yang pada umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan. Daya lekat antar butir-butir agak kurang karena butir yang bulat. Karena besar butir-butirnya kecil, maka baik dipakai untuk memplester tembok. Juga dapat dipakai untuk keperluan yang lain.
- (c) Pasir laut Pasir laut ialah pasir yang diambil dari pantai. Butir-butirnya halus dan bulat karena gesekan. Pasir ini merupakan pasir yang paling jelek karena banyak mengandung garam-garaman. Garam-garaman ini menyerap kandungan air dari udara dan ini mengakibatkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan. Oleh karena itu maka sebaiknya pasir laut jangan dipakai.

Agregat pecahan (kerikil maupun pasir) diperoleh dengan memecah batu menjadi berukuran butiran yang diinginkan dengan cara meledakkan, memecah, menyaring, dan

seterusnya. Dari kronologinya, agregat alami maupun yang hasil pemecahan, dapat dibagi menjadi beberapa jenis kelompok agregat yang memiliki sifat-sifat yang khusus. Agregat alami dapat diklasifikasikan ke dalam sejarah terbentuknya peristiwa geologi, yaitu agregat beku, agregat sedimen, dan agregat metamorf, yang kemudian dibagi lagi menjadi kelompok-kelompok yang lebih kecil.

Bila agregat alami yang baik tidak mungkin diperoleh atau jauh dari lokasi pekerjaan, maka bahan lain misalnya pecahan batu tanah liat bakar dapat dipakai untuk menggantikan agregat.

Batu pecah ini merupakan butir-butir hasil pemecahan batu. Butir-butirnya berbentuk tajam, sehingga sedikit lebih memperkuat betonnya.

Tanah liat bakar, tanah liat dengan kadar air tertentu dibuat berbutir sekitar 5 sampai 20 mm, kemudian dibakar. Hasil pembakaran berbentuk bola yang keras dan ringan serta berpori. Serapan airnya sebesar antara 8 sampai 20 persen. Beton dengan agregat ini berat jenisnya sekitar 1,9.

Lempung bekah, agregat ini adalah hasil pembuatan dari suatu jenis lempung (shale) yang dimasukkan ke dalam tungku putar pada suhu 1100⁰ C selama 10 menit. Gas dalam shale mengembang dan membekah membentuk jutaan sel kecil udara dalam massa. Sel-sel kecil tersebut dikelilingi oleh selaput tipis kedap air yang kuat dan bening. Agregat ini dapat dipakai untuk menggantikan agregat dalam pembuatan beton struktural. Agregat ini sangat ringan, berat jenisnya 1,15 tetapi kuat tekannya hampir sama (pada jumlah semen yang sama). Beton ini mempunyai ketahanan tinggi terhadap panas sehingga biasanya digunakan untuk dinding penahan panas, lapisan tahan api pada baja struktur, dan untuk struktur beton yang permukaannya terkena panas tinggi. Beton ini juga mempunyai sifat meredam suara yang baik.

Kuat tekan beton dengan agregat buatan dapat sama dengan beton biasa. Beton yang dibuat dari agregat buatan biasanya memerlukan selimut beton lebih tebal karena mudah menyerap air. Modulus elastisitas beton dengan agregat buatan biasanya lebih rendah daripada beton biasa. Kuat lentur beton ini lebih rendah dari pada beton biasa, namun kuat gesernya dapat sama. Besar susutan rayapan biasanya lebih besar daripada beton biasa.

Agregat Abu Terbang (sintered flyash aggregate). Agregate ini ialah hasil dari pemanasan abu terbang sampai meleleh dan mengeras lagi yang membentuk butir-butir seperti kerikil.

Benda padat buangan/limbah. Kemungkinan pemakaian benda padat limbah untuk dipakai sebagai pengganti agregat dalam pembuatan beton yang pada masa-masa terakhir ini sering dibicarakan dan tampak meningkat kebutuhannya, sebenarnya bukanlah suatu konsep yang baru, misalnya, pemakaian abu terbang (flyash) dan blast-furnace slags telah dipakai sebagai agregat, dan robekan-robekan kaleng bekas yang dipakai sebagai serat dalam beton, juga barang-barang bekas bongkaran bangunan, maupun barang-barang sampah dari kantor dan rumah, misalnya kertas, gelas, plastik, dsb.

Sebelum barang-barang bekas/buangan tersebut dipakai, maka perlu dipertimbangkan dulu hal-hal sebagai berikut :

- a). tinjauan ekonomi, apakah tidak lebih mahal daripada agregat aslinya,
- b). tinjauan sifat teknis pada betonnya.

2.2 BERAT JENIS AGREGAT

Agregat dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya, yaitu agregat normal, agregat berat dan agregat ringan.

Agregat normal ialah agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini biasanya berasal dari agregat granit, basalt, kuarsa dan sebagainya. Beton yang dihasilkan berberat jenis sekitar 2,3 dengan kuat tekan antara 15 Mpa sampai 40 Mpa. Betonnyapun disebut beton normal.

Agregat ringan mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 yang biasanya dibuat untuk non-struktural, akan tetapi dapat pula untuk beton struktural atau blok dinding tembok. Kebaikannya ialah berat sendiri yang rendah sehingga strukturnya ringan dan fondasinya lebih kecil. Agregat ringan dapat diperoleh secara alami maupun buatan. Agregat ringan alami misalnya : tanah bakar (bloated clay), abu terbang (sintered flyash), busa terak tanur tinggi (foamed blast furnace slag). Pada umumnya beton dari agregat ringan, selain bobotnya rendah juga mempunyai sifat lebih tahan api dan sebagai bahan isolasi panas yang lebih baik.

Agregat ringan umumnya mempunyai daya serap air yang tinggi sebesar 14 persen pada lempung bakar, sehingga dalam pengadukan beton cepat keras hanya dalam beberapa menit saja setelah pencampuran, untuk itu perlu diadakan pembasahan agregat terlebih dulu sebelum pengadukan. Dalam pencampuran sebaiknya air yang dibutuhkan dan agregat dicampur dulu, kemudian baru semennya. Karena sifatnya yang mudah dilalui air (tidak rapat air) maka untuk mencegah korosi tulangan diperlukan selimut beton

yang lebih tebal daripada beton normal. Beton dengan agregat ringan mempunyai kuat tarik rendah, modulus elastisitas rendah, serta rayapan dan susutan lebih tinggi.

2.3 BERAT SATUAN DAN KEPADATAN

Volume pasir atau kerikil terdiri atas :

- (1) Berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori
- (2) Berat jenis semu (berat jenis tampak) jika volume benda padatnya termasuk pori-pori tertutupnya.

Catatan : Untuk agregat tertentu yang pori tertutupnya kecil, sering kedua istilah di atas disamakan, dan disebut berat jenis saja.

Berat satuan agregat ialah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam kg/liter atau ton/m³ . Jadi berat satuan dihitung berdasar berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volumenya adalah volume padat (meliputi pori tertutup) dan volume pori terbukanya.

Dengan demikian maka secara matematika dapat ditulis :

$$V_t = V_b + V_p$$

dengan : $V_t =$ Volume total

$V_b =$ Volume butiran, termasuk pori tertutup

$V_p =$ Volume pori terbuka

Beberapa istilah yang perlu diketahui akibat hal itu antara lain :

Porositas : $P = \frac{V_p}{V_t} \times 100\%$

Kepampatan (kepadatan) : $K = \frac{V_b}{V_t} \times 100\%$

Dari rumus-rumus tersebut maka didapat hubungan antara nilai kepadatan dan porositas, yaitu :

$$K = 100 - P$$

Bila suatu agregat kering beratnya W, maka diperoleh :

berat jenis $b_j = W / V_b$

berat satuan $b_{sat} = W / V_t$

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa :

Porositas = 35 - 40%

Kepampatan = 60 - 65%

Berat jenis = 2,50 - 2,70

Berat satuan = 1,20 - 1,60

2.4 UKURAN BUTIR AGREGAT

Jika butiran agregat bulat sempurna maka jari-jari atau diameter merupakan ukuran yang sempurna. Untuk bentuk butir yang lainnya yang disebut dengan ukuran tidak dapat dikatakan dengan tepat dalam satu angka tanpa mendua. Misalnya, jika butiran berbentuk kubus, secara logika ukurannya dapat dinyatakan dalam panjang sisi atau panjang diagonal permukaan kubusnya atau diagonal badannya. Keadaan yang demikian akan lebih tidak jelas lagi jika bentuk butiran adalah tidak teratur, bersudut tajam, sebagaimana dimiliki oleh hampir setiap butir agregat. Dengan singkat kata, ukuran butiran agregat bukan hal yang terpisahkan dari bentuk, kecuali jika disebutkan bahwa ukuran itu adalah ukuran tertentu, misalnya volume, permukaan, dan sebagainya. Sebagai konsekuensinya maka ukuran butir agregat yang optimum, misalnya gradasi yang optimum untuk jenis beton tertentu, juga tergantung pada bentuk.

Pengukuran ukuran butir agregat didasarkan atas suatu pemeriksaan yang dilakukan dengan alat berupa ayakan dengan lubang-lubang yang telah ditetapkan. Ukuran butiran agregat, tanpa memperhatikan bentuknya, didefinisikan sebagai d_i jika butiran itu dapat lolos pada ayakan dengan besar lubang d_i . Cara ini ternyata amat baik dan juga rasional, terutama jika dipakai untuk pengukuran suatu seri dengan bermacam-macam ukuran yang berbeda. Jika sebuah butiran lolos pada ayakan dengan lubang d_i tetapi tertahan pada ayakan dengan lubang yang lebih kecil sedikit, yaitu d_{i-1} , maka dikatakan bahwa butiran itu berukuran berukuran antara d_{i-1} dan d_i .

Secara teoritis, ukuran agregat maksimum atau ukuran butir maksimum, yang ada pada fraksi ukuran butir d_{i-1} - d_i ialah agregat dengan ukuran d_i . Kadang-kadang d_i disebut juga ukuran nominal maksimum. Akan tetapi dalam praktek selalu ada butiran-butiran dalam suatu fraksi yang lebih besar daripada ukuran nominal maksimum tersebut. Butiran agregat yang lebih besar daripada ukuran nominal maksimum itu disebut kelebihan ukuran (oversize). Oleh karena itu, dalam praktek yang dinamakan dengan ukuran maksimum D ialah ukuran butir agregat maksimum yang ada dalam jumlah cukup untuk mempengaruhi sifat sisik beton; pada umumnya dirancang dengan ukuran ayakan tertentu dengan jumlah butir yang tertahan pada ayakan tersebut sebanyak 5

sampai 10 persen berat total. Dengan pertimbangan yang sama, maka definisi tersebut diterapkan pula untuk d_{min} , yaitu ukuran terkecil butir-butir agregat.

2.5 UKURAN MAKSIMUM BUTIR AGREGAT

Adukan beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang sama, atau beton dengan kekuatan yang sama, akan membutuhkan semen yang lebih sedikit apabila dipakai butir-butir kerikil besar-besar. Oleh karena itu, untuk mengurangi jumlah semen (sehingga biaya pembuatan beton berkurang) dibutuhkan ukuran butir-butir maksimum agregat yang sebesar-besarnya. Pengurangan jumlah semen juga berarti pengurangan panas hidrasi, dan ini berarti mengurangi kemungkinan beton untuk retak akibat susut atau perbedaan panas yang besar. Walaupun demikian, besar butir maksimum agregat (dapat diartikan juga ukuran maksimum butir kerikil) tidak dapat terlalu besar, karena ada faktor-faktor lain yang membatasi. Faktor-faktor yang membatasi besar butir maksimum agregat ialah:

- (a) Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $3/4$ kali jarak bersih antar baja tulangan atau antara baja tulangan dan cetakan.
- (b) Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $1/3$ kali tebal plat.
- (c) Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $1/5$ kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Dengan pertimbangan tersebut di atas , maka ukuran maksimum butir agregat umumnya dipakai 10 mm, 20 mm, 30 mm, atau 40 mm. Jika tidak dipakai baja tulangan, misalnya beton untuk fondasi sumuran, ukuran maksimum agregat dapat sebesar 150 mm.

2.6 GRADASI AGREGAT

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat.

Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar.

Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil.

Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kepadatannya tinggi.

Sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai persentase dari berat butiran yang tertinggal atau lewat didalam suatu susunan ayakan. Susunan ayakan itu ialah ayakan dengan lubang : 76 mm, 38 mm, 19 mm, 9,6 mm, 4,80 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,30 mm dan 0,15 mm.

2.7 MODULUS HALUS BUTIR

Modulus -halus -butir (“fineness modulus”) ialah suatu indek yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat.

Modulus -halus -butir (mhb) ini didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir - butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan dan kemudian dibagi seratus. Susunan lubang ayakan itu ialah sebagai berikut : 40 mm, 20 mm, 10 mm, 4,80 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,30 mm dan 0,15 mm.

Makin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Pada umumnya pasir mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8. Adapun mhb kerikil biasanya diantara 5 dan 8.

Modulus halus butir selain untuk menjadi ukuran kehalusan butir juga dapat dipakai untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dan kerikil, bila kita akan membuat campuran beton. Modulus halus butir agregat dari campuran pasir dan kerikil untuk bahan pembuat beton berkisar antara 5,0 dan 6,5.

2.8 SERAPAN AIR DALAM AGREGAT

Karena adanya udara yang terjebak dalam suatu butiran agregat ketika pembentukannya atau karena dekomposisi mineral pembentuk tertentu oleh perubahan cuaca, maka terbentuklah lubang, atau rongga kecil di dalam butiran agregat itu, yang umumnya disebut pori. Pori dalam butiran agregat mempunyai ukuran yang bervariasi cukup besar, dari yang besar sehingga mampu dilihat dengan mata telanjang, sampai yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop. Pori-pori tersebar di seluruh tubuh butiran, beberapa merupakan pori-pori yang tertutup dalam materi, beberapa yang lainnya terbuka terhadap permukaan butiran. Beberapa jenis agregat yang sering dipakai mempunyai volume pori tertutup sekitar 0 sampai 20 persen dari volume butirnya.

Karena agregat menempati sampai 75 persen dari volume betonnya maka porositas agregat memberikan iuran/kontribusi pada porositas beton secara keseluruhan.

Pori-pori mungkin menjadi reservoir air bebas di dalam agregat. Persentase berat air yang mampu diserap oleh suatu agregat jika direndam dalam air disebut serapan air.

2.9 KADAR AIR AGREGAT

Air yang ada pada suatu agregat (di lapangan) perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang perlu dipakai dalam campuran adukan beton dan pula untuk

mengetahui berat - satuan agregat. Keadaan kandungan air di dalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat yaitu :

- (a) Kering tungku; Benar-benar tidak berair, dan ini berarti dapat secara penuh menyerap air.
- (b) Kering udara; Butir-butir agregat kering permukaannya tetapi mengandung sedikit air di dalam porinya. Oleh karena itu pasir dalam tingkat ini masih dapat sedikit mengisap air.
- (c) Jenuh kering-muka; Pada tingkat ini tidak ada air di permukaan tetapi butir-butirnya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan demikian butiran-butiran agregat pada tahap ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.
- (d) Basah; Pada tingkat ini butir-butir mengandung banyak air, baik dipermukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai untuk campuran akan memberi air.

Dari keempat keadaan tersebut diatas, hanya dua keadaan yang sering dipakai dalam dasar hitungan, ialah kering tungku dan jenuh kering-muka, karena konstan untuk suatu agregat tertentu. Adapun kering udara dan basah yang merupakan keadaan sebenarnya di lapangan sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh lingkungan.

Keadaan jenuh kering-muka (saturated surface-dry, SSD) lebih disukai sebagai standar, karena :

- a) merupakan keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastinya.
- b) kadar air di lapangan lebih banyak yang mendekati keadaan SSD daripada yang kering tungku.

Dalam hal hitungan kebutuhan air pada adukan beton, biasanya agregat dianggap dalam keadaan jenuh kering muka, sehingga jika keadaan agregat di lapangan kering udara maka dalam adukan beton akan menyerap air, namun jika agregat di lapangan dalam keadaan basah maka akan menambah air.

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{berat semula} - \text{berat kering}}{\text{berat kering}} \times 100\%$$

Dalam hitungan campuran adukan beton dipakai berat-satuan pasir untuk tingkat jenuh - kering - muka, karena tidak menambah ataupun mengurangi jumlah air ke dalam campuran.

2.10 KEKUATAN DAN KEULETAN AGREGAT

Kekuatan beton tidak lebih tinggi daripada kekuatan agregatnya. Oleh karena itu sepanjang kuat tekan agregat lebih tinggi daripada beton yang dibuat dari agregat tersebut maka agregat tersebut masih dianggap cukup kuat. Namun dalam kasus-kasus beton kuat tekan tinggi yang mengalami konsentrasi tegangan lokal cenderung mempunyai tegangan lebih tinggi daripada kekuatan seluruh beton, dalam hal ini maka kekuatan agregat menjadi kritis.

Kekuatan dan sifat lain dari agregat dapat sangat bervariasi dalam batas-batas yang besar. Butir-butir agregat dapat bersifat kurang kuat karena dua sebab, yaitu karena terdiri dari bahan yang lemah atau terdiri dari partikel-partikel yang kuat tetapi tidak terikat dengan kuat, jadi bahan ikatnya yang kurang kuat. Misalnya granit, terdiri dari bahan yang keras dan kuat, yaitu kristal quartz dan feldspar tetapi bersifat kurang kuat dan modulus elastisitasnya lebih rendah daripada gabros dan diabases, hal ini karena butir-butir dalam granit tidak terikat satu sama lain dengan baik.

Porositas atau kepadatan juga berpengaruh sekali terhadap kekuatan agregatnya. Pengaruh yang lain ialah terhadap keuletannya, yang merupakan ketahanan terhadap beban kejut.

Kekerasan dari butir-butir tergantung pada kekerasan dari bahannya, jadi tidak dipengaruhi oleh kekuatan lekatannya antara butir satu terhadap yang lain.

Sifat elastisitas agregat, yaitu suatu sifat yang dalam pengujian beban uniaksial disebut sebagai modulus elastisitas, sama seperti bahan getas yang lain. Agregat yang lebih kuat umumnya mempunyai modulus elastisitas lebih tinggi.

2.11 KETAHANAN CUACA (KEKEKALAN)

Sifat ketahanan agregat terhadap perubahan cuaca disebut ketahanan cuaca atau kekekalan. Sifat ini merupakan volume yang berlebihan yang diakibatkan oleh perubahan-perubahan pada kondisi lingkungan, misalnya : pembekuan dan pencairan (pada daerah cuaca dingin), perubahan suhu, musim kering dan hujan yang berganti-ganti. Suatu agregat dikatakan tidak bersifat kekal apabila terjadi perubahan volume yang mengakibatkan memburuknya sifat beton. Ini mungkin muncul dalam bentuk perubahan setempat-setempat hingga terjadi retakan permukaan atau disintegrasi pada suatu kedalaman yang cukup besar, jadi kerusakannya bervariasi dari kenampakan yang berubah sampai keadaan yang secara struktural (kekuatan) membahayakan.

2.12 ZAT-ZAT YANG BERPENGARUH BURUK PADA BETON

Bahan dari aksi zat-zat yang berpengaruh buruk tersebut, maka dapat dibedakan menjadi 3 macam, yaitu :

- 1) zat yang mengganggu proses hidrasi semen
- 2) zat yang melapisi agregat sehingga mengganggu terbentuknya lekatan yang baik antara agregat dan pasta semen.
- 3) butiran-butiran yang kurang tahan cuaca, yang bersifat lemah dan menimbulkan reaksi kimia antara agregat dan pastanya.

Kandungan organik berinterferensi dengan reaksi-reaksi kimia hidrasi. Zat-zat ini pada umumnya terdiri dari bahan tanaman yang telah busuk dan muncul dalam bentuk humus. Umumnya lebih banyak terdapat dalam agregat halus daripada dalam agregat kasar.

Lempung atau bahan-bahan halus lainnya, misalnya silt atau debu pecahan batu mungkin terdapat dalam lapis permukaan yang berinterferensi dengan lekatan antara agregat dan pasta semen. Karena lekatan ini penting, maka pengaruhnya pada kekuatan dan daya tahan beton penting pula. Lapisan yang lunak dan longgar dapat dihilangkan dengan pencucian, adapun yang bersifat stabil secara kimiawi dan melekat kuat tidak berpengaruh yang membahayakan, kecuali mungkin adanya susutan yang lebih besar. Namun demikian suatu agregat dengan lapisan permukaan yang bersifat reaktif dapat menimbulkan masalah yang sulit. Silt atau debu halus, jika terdapat dalam jumlah yang berlebihan, menambah permukaan agregat sehingga jumlah air yang diperlukan untuk membasahi semua butiran dalam campuran itu juga meningkat, akibat menurunkan kekuatan dan daya tahan beton.

Pasir yang diperoleh dari pantai atau muara sungai mengandung garam dan terkadang kandungannya sampai 6 persen dari massa pasir. Garam dapat diambil dari pasir dengan mencucinya dengan air tawar sebelum pemakaian. Jika garam tidak diambil akan menyerap air dari udara dan mungkin menyebabkan pengembangan, dan mungkin juga menyebabkan korosi pada tulangnya.

2.13 BENTUK AGREGAT

Sifat bentuk (dan tekstur permukaan) dari butir-butir agregat sebenarnya belum terdefiniskan dengan jelas, sehingga sifat-sifat tersebut sulit diukur dengan baik dan pengaruhnya terhadap beton juga sulit diperiksa dengan teliti. Sejumlah peneliti yang berkecimpung di bidang masalah ini telah banyak membicarakan masalah ini.

Kebulatan, atau ketajaman sudut, ialah sifat yang dimiliki butir yang tergantung pada ketajaman relatif dari sudut dan ujung butir. Kebulatan dapat didefinisikan secara numerik sebagai rasio antara jari-jari rata-rata dari sudut lengkung ujung atau sudut butir dan jari-jari maksimum lengkung salah satu ujung/sudut-nya.

Sperikal ialah sifat yang tergantung pada rasio antara luas bidang permukaan butir dan volume butir. Nilai rasio ini berhubungan dengan panjang ketiga sumbu pokok butiran agregat.

Jika panjang dua sumbu pokok amat pendek dibandingkan dengan panjang sumbu pokok yang ketiga, butiran disebut berbentuk panjang, adapun jika panjang dua sumbu pokok amat panjang dibandingkan dengan panjang sumbu pokok yang ketiga, butiran disebut pipih.

Bentuk butiran agregat lebih berpengaruh pada beton segar daripada setelah beton mengeras. Berdasarkan bentuk butiran agregat dapat dibedakan menjadi :

- 1) agregat bulat
- 2) agregat sebagian
- 3) bersudut
- 4) panjang, dan
- 5) pipih.

Agregat bulat (dari sungai atau pantai) mempunyai rongga udara minimum 33 persen. Hal ini berarti mempunyai rasio luas permukaan-volume kecil, sehingga hanya memerlukan pasta semen yang sedikit untuk menghasilkan beton yang baik, namun ikatan antar butir-butirnya kurang kuat sehingga lekatannya lemah, sehingga tidak cocok untuk beton mutu tinggi maupun perkerasan jalan raya.

Agregat bulat sebagian mempunyai rongga lebih tinggi, yaitu berkisar antara 35 sampai 38 persen, dengan demikian membutuhkan lebih banyak pasta semen untuk mendapatkan beton segar yang dapat dikerjakan. Ikatan antar butir-butir lebih baik daripada agregat bulat, namun belum cukup untuk dibuat beton mutu tinggi.

Agregat bersudut mempunyai rongga berkisar antara 38 sampai 48 persen. Ikatan antar butir-butirnya baik sehingga membentuk daya lekat yang baik (ingat batu pecah yang dipakai untuk balast jalan kereta api). Pasta semen yang diperlukan lebih banyak untuk membuat adukan beton dapat dikerjakan, namun baik untuk beton mutu tinggi maupun lapis perkerasan jalan.

Agregat pipih ialah agregat yang ukuran terkecil butirannya kurang dari 3/5 ukuran rata-ratanya. Ukuran rata-rata agregat ialah rata-rata ukuran ayakan yang meloloskan

dan yang menahan butiran agregat. Jadi, agregat mempunyai ukuran rata-rata 15 mm jika lolos pada lubang ayakan 20 mm dan tertahan pada lubang ayakan 10 mm. Agregat akan dinamakan pipih jika ukuran terkecil butirannya lebih kecil dari $\frac{3}{5} \times 15 \text{ mm} = 9 \text{ mm}$.

Butir agregat disebut memanjang bila ukuran terbesar (yang paling panjang) lebih dari $\frac{9}{5}$ dari ukuran rata-rata. Jadi pada agregat di atas, jika ukuran terbesar butirnya lebih dari 27 mm.

Kepipihan atau kepanjangan butir agregat berpengaruh jelek terhadap daya tahan/keawetan beton, karena agregat ini cenderung berkedudukan pada bidang rata air (horisontal), sehingga terdapat rongga udara dibawahnya.

Umumnya butiran agregat yang pipih/panjang tidak boleh lebih dari 15 persen. Hal ini biasanya perlu diperhatikan pada agregat buatan, karena ada jenis mesin pemecah batu yang hasilnya cenderung berbentuk panjang atau pipih.

2.14 TEKSTUR PERMUKAAN BUTIRAN

Tekstur permukaan ialah suatu sifat permukaan yang tergantung pada ukuran apakah permukaan butir termasuk halus atau kasar, mengkilap atau kusam, dan macam dari bentuk kekasaran permukaan. Pada umumnya permukaan butiran hanya disebut sebagai kasar, agak kasar, agak licin dan licin. Tetapi berdasarkan pada pemeriksaan visual butiran agregat, tekstur permukaan butiran agregat dapat dibedakan menjadi : sangat halus (glassy), halus, granuler, kasar, berkilat (crystalline), berpori dan berlubang-lubang. Ukuran tekstur permukaan secara numerik, misalnya seperti yang dipakai dalam logam, belum dipakai dalam agregat.

Tekstur permukaan tergantung pada kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan, dan juga tergantung pada besar gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang telah membuat licin atau kasar permukaan tersebut. Bahan agregat yang keras, padat, berbutir kecil-kecil umumnya menjadikan permukaan butiran agregat berstruktur halus. Butir-butir dengan tekstur permukaan yang licin membutuhkan air lebih sedikit daripada butir-butir yang tekstur permukaannya kasar. Dilain pihak, hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis tertentu dari agregat kasar, kekasaran menambah kekuatan tarik maupun kekuatan lentur beton, oleh karena menambah gesekan antara pasta semen dan permukaan butir-butir agregat.

Sifat-sifat fisik agregat, misalnya bentuk dan tekstur permukaan secara nyata mempengaruhi mobilitas (yaitu mudah dikerjakan) dari beton segarnya, maupun daya

lekat antara agregat dan pastanya. Kuat rekatan antara agregat dan pasta semen tergantung pada tekstur permukaan tersebut. Rekatan tersebut merupakan pengembangan dari ikatan mekanis antar butiran. Suatu agregat dengan permukaan yang berpori dan kasar lebih disukai daripada agregat dengan permukaan yang halus, karena agregat dengan tekstur kasar dapat meningkatkan rekatan agregat-semen sampai 1,75 kali, adapun kuat tekan betonnya dapat meningkat sekitar 20 persen.

2.15 PERSYARATAN AGREGAT

Agregat untuk bahan bangunan dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Butir-butir tajam, dan bersudut. Ukuran kekuatan agregat dapat dilakukan dengan pengujian ketahanan aus dengan mesin uji Los Angeles atau dengan bejana Rudeloff.
- b. Tidak mengandung tanah atau kotoran lain yang lewat ayakan 0,075 mm. Pada agregat halus jumlah kandungan kotoran ini harus tidak lebih dari 5 persen untuk beton sampai 10 Mpa dan 2,5 persen untuk beton mutu yang lebih tinggi. Pada agregat kasar kandungan kotoran ini dibatasi sampai maksimum 1 persen. Jika agregat mengandung kotoran lebih dari batas-batas maksimum tersebut maka harus dicuci dengan air bersih.
- c. Harus tidak mengandung garam yang menghisap air dari udara.
- d. Harus yang benar-benar tidak mengandung zat organis. Kandungan zat organis dapat mengurangi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna pembanding. Agregat yang tidak diperiksa dengan percobaan warna dapat juga dipakai jika kuat tekan adukan dengan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95 persen daripada kuat tekan adukan dengan agregat yang sama tetapi telah dicuci dalam larutan 3 persen NaOH dan kemudian dicuci dengan air bersih, pada umur yang sama.
- e. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik sehingga rongganya sedikit (untuk pasir modulus halus butirnya antara 2,50 - 3,80). Pasir yang seperti ini hanya memerlukan pasta semen sedikit.
- f. Bersifat kekal, tidak hancur atau berubah karena cuaca. Sifat kekal tersebut jika diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
 - a). Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 persen untuk kerikil dan 10 persen untuk pasir.

-
- b). jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 18 persen untuk kerikil dan 15 persen untuk pasir.
- g. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, agregat harus mempunyai tingkat reaktif yang negatif terhadap alkali.
- Menurut ASTM C227 untuk memeriksa agregat terhadap sifat reaktif ini dilakukan dengan percobaan batang mortar, yaitu agregat dipecah menjadi berbutir kecil-kecil kemudian dicampur dengan semen dan air sesuai dengan yang akan digunakan di lapangan, lalu dicetak menjadi batang mortar dengan ukuran 25 mm x 25 mm x 285 mm. Batang mortar ini kemudian disimpan dalam ruangan lembab dengan suhu 38^oC untuk mempercepat reaksi alkali-agregat. Dalam 3 bulan kemudian, batang mortar ini tidak boleh bertambah panjang lebih dari 0,05 persen atau dalam 6 bulan 0,1 persen. Namun percobaan ini tampaknya masih dianggap kurang memuaskan karena pengembangan dapat terjadi sesudah umur 6 bulan. Oleh karena itu, percobaan dapat dilakukan lebih lama lagi, tetapi hasil yang diharapkan tampaknya juga tetap mempunyai kekurangan.
- h. Untuk agregat kasar, tidak boleh mengandung butiran-butiran yang pipih dan panjang lebih dari 20 persen dari berat keseluruhan.

3. A I R

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen air yang diperlukan hanya sekitar 25 persen berat semen saja namun dalam kenyataannya nilai faktor air-semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini yang dipakai sebagai pelumas. tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan rendah serta betonnya porous. Selain itu, kelebihan air akan bersama-sama dengan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (bleeding) yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang dikenal dengan laitance (selaput tipis). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis - lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah. Apabila ada kebocoran cetakan, air bersama-sama semen juga dapat keluar, sehingga terjadilah sarang-sarang kerikil.

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum).

Secara umum, air yang dapat dipakai untuk bahan pencampur beton ialah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling.

Dalam hal terdapat kesulitan air di daerah terpencil misalnya yang tidak terdapat air minum atau air untuk penggunaan umum, dan kualitas air yang ada di khawatirkan, maka perlu dilakukan pengujian kualitas air.

Kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya pada lamanya waktu ikatan awal adukan beton serta kekuatan betonnya setelah mengeras. Adanya butiran melayang (lumpur) dalam air diatas 2 gram/liter dapat mengurangi kekuatan beton. Air yang berlumpur terlalu banyak dapat diendapkan dulu sebelum dipakai, dalam kolam pengendap. Adanya garam-garam mangan, timah, seng, tembaga dan timah hitam dengan jumlah cukup besar pada air adukan akan menyebabkan pengurangan kekuatan beton. Seng klorida misalnya, memperlambat ikatan awal beton sedemikian sehingga beton belum memiliki kekuatan dalam umur 2-3 hari. Pengaruh timbal nitrat ($Pb NO_3$) yang tinggi akan sangat merusak beton. Beberapa garam seperti sodium iodate, sodium phosphate, sodium arsenat, dan sodium borat mengurangi kuat awal beton menjadi sangat rendah. Sodium karbonat dan potasium dapat menyebabkan ikatan sangat cepat dan dalam konsentrasi yang besar akan mengurangi kekuatan beton. Adanya kalsium klorida mempercepat ikatan dan pengerasan.

Air laut umumnya mengandung 3,5 persen larutan garam, sekitar 78 persennya adalah sodium klorida dan 15 persennya adalah magnesium sulfat. Adanya garam-garam dalam air laut ini dapat mengurangi kekuatan beton sampai 20 persen. Air laut tidak boleh digunakan untuk campuran beton pada beton bertulang atau beton prategang, karena risiko terhadap korosi tulangan lebih besar.

Air laut umumnya mengandung 3,5 persen larutan garam, sekitar 78 persennya adalah sodium klorida dan 15 persennya adalah magnesium sulfat. Adanya garam-garam dalam air laut ini dapat mengurangi kekuatan beton sampai 20 persen. Air laut tidak boleh digunakan untuk campuran beton pada beton bertulang ataupun beton prategang, karena risiko terhadap korosi tulangan lebih besar.

Air buangan industri yang mengandung asam atau alkali biasanya tidak memenuhi syarat untuk struktur beton.

Ganggang yang mungkin terdapat dalam air atau pada permukaan butir-butir agregat, bila tercampur dalam adukan akan mengurangi lekatan antara batuan dan pastanya. Hal ini memperburuk beton.

Kandungan gula mungkin juga terdapat dalam air. Bila kandungan itu kurang dari 0,05 persen berat air tampaknya tidak berpengaruh terhadap kekuatan beton. Namun dalam jumlah yang lebih banyak dapat memperlambat ikatan awal, dan kekuatan beton dapat berkurang.

Dalam pemakaian air untuk beton itu sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut :

- (a) tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- (b) tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- (c) tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter
- (d) tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organis dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

4. BAHAN TAMBAHAN

Bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya : mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas (mengurangi sifat getas), mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya.

Bahan tambah seharusnya hanya berguna kalau sudah ada evaluasi yang teliti tentang pengaruhnya pada beton, khususnya dalam kondisi dimana beton diharapkan akan digunakan. Dalam hal-hal yang meragukan terutama untuk pekerjaan-pekerjaan khusus, perlu diadakan pemeriksaan pada contoh-contoh yang mewakili, agar diperoleh informasi yang dapat dipercaya.

Bahan tambah biasanya diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit, dan harus dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang justru akan dapat memperburuk sifat beton.

4.1 BAHAN KIMIA TAMBAHAN

Bahan kimia tambahan (chemical admixture) ialah bahan kimia (berupa bubuk atau cairan) yang dicampurkan pada adukan beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk mengubah beberapa sifatnya (SK SNI S-18-1990-03, Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton).

Bahan kimia tambahan dapat dibedakan menjadi 5 jenis :

- (a) Bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang dipakai. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen sama.

Penjelasan :

- (1) Dengan memakai bahan kimia tambahan ini, kekentalan adukan dapat dibuat sama, dengan nilai f.a.s. lebih rendah, sehingga kuat tekan beton lebih tinggi.
 - (2) Dengan memakai bahan kimia tambahan ini, nilai f.a.s.nya dibuat sama, berarti kuat tekannya sama, namun kekentalan adukan beton menjadi lebih encer.
- (b) Bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini digunakan misalnya pada suatu kasus dimana jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan adukan cukup jauh, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran dan pematatan lebih dari 1 jam.
 - (c) Bahan kimia tambahan untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan jika penuangan adukan dilakukan di bawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan waktu penyelesaian segera, misalnya perbaikan landasan pacu pesawat udara, balok prategang, jembatan dan sebagainya.
 - (d) Bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.
 - (e) Bahan kimia tambahan berfungsi ganda, yaitu untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

Selain 5 jenis di atas ada 2 jenis lain yang lebih khusus, yaitu :

- (a) Bahan kimia tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sampai sebesar 12 persen atau bahkan lebih untuk menghasilkan adukan beton dengan kekentalan sama (air dikurangi sampai 12% lebih namun adukan beton tidak bertambah kental).
- (b) Bahan kimia tambahan dengan fungsi ganda, yaitu mengurangi air sampai 12% atau lebih dan memperlambat waktu pengikatan awal.

4.2 POZOLAN

Pozolan adalah bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan atau aluminat yang reaktif (Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia, PUBI - 1982). Pozolan sendiri tidak mempunyai sifat semen, tetapi dalam keadaan halus (lolos ayakan 0,21 mm) bereaksi dengan air dan kapur padam pada suhu normal (24 - 27⁰ C) menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air.

Termasuk dalam kelompok pozolan antara lain :

- (a) Tras alam
- (b) Gilingan terak dapur tinggi
- (c) Abu terbang (abuter, fly ash)

Dalam SK SNI S-15-1990-F Spesifikasi Abu Terbang sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton disebutkan ada 3 jenis abu terbang, yaitu :

- (1) Abu terbang kelas F, ialah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis antrasit pada suhu 1560⁰ C.
- (2) Abu terbang kelas N, ialah hasil kalsinasi dari pozolan alam, misalnya tanah diatomice, shale, tuft, dan batu apung
- (3) Abu terbang kelas C, adalah hasil dari pembakaran lignit atau batubara dengan kadar karbon sekitar 60 persen; abu terbang ini mempunyai sifat seperti semen dengan kadar kapur diatas 10 persen.

Pozolan dapat dipakai sebagai bahan tambahan atau sebagai pengganti sebagian semen portland. Bila dipakai sebagai pengganti sebagian semen Portland, umumnya berkisar antara 10 sampai 35 persen berat semen. Bahan tambahan ini dapat membuat beton lebih tahan terhadap garam, sulfat, dan air asam. Laju kenaikan kekuatannya lebih lambat daripada pada beton normal. Pada umur 28 hari kuat tekannya lebih rendah

daripada beton normal, namun sesudah 3 bulan (90 hari) kuat tekannya dapat sedikit lebih tinggi.

Bila pozolan dipakai sebagai bahan tambah akan menjadikan beton lebih mudah diaduk, lebih rapat air, dan lebih tahan terhadap serangan kimia.

Beberapa pozolan dapat mengurangi pemuaiannya beton yang terjadi akibat proses reaksi alkali-agregat (reaksi alkali dalam semen dengan silika dalam agregat). Dengan demikian mengurangi retak-retak beton akibat reaksi tersebut.

Pada pembuatan beton massa (mass concrete), misalnya dam, pemakaian pozolan sangat menguntungkan karena menghemat semen, dan mengurangi panas hidrasi. Panas hidrasi pada beton massa dapat mengakibatkan retakan yang serius.

4.3 SERAT

Salah satu bahan tambah beton ialah serat (fibre). Beton yang diberi bahan tambah serat disebut beton-serat (fibre reinforced concrete). Karena ditambah serat, maka menjadi suatu bahan komposit, yaitu beton dan serat. Serat dapat berupa asbestos, gelas/kaca, plastik, baja atau serat tumbuh-tumbuhan (rami, ijuk).

Maksud utama penambahan serat ke dalam beton adalah untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik beton sangat rendah. Kuat tarik yang sangat rendah berakibat beton mudah retak, yang pada akhirnya mengurangi keawetan beton. Dengan adanya serat, ternyata beton menjadi lebih tahan retak dan tahan benturan jika masalah penyerapan energi diperlukan. Perlu diperhatikan bahwa pemberian serat tidak banyak menambah kuat tekan beton, namun hanya menambah daktilitas.

Serat baja dapat berupa potongan-potongan kawat, atau dibuat khusus dengan permukaan halus/rata atau deform, lurus atau bengkok untuk memperbesar lekatan dengan betonnya. Serat baja akan berkarat di permukaan beton, namun akan sangat awet jika didalam beton. Diameter serat baja bervariasi dari 5 sampai 500 mikrometer (1 mikro meter = 1/juta meter) dan panjang sekitar 50mm. Jumlah pemakaian serat baja sekitar 50-200 kg per meter kubik beton.

Dalam pemakaian, hal yang menjadi pembatas adalah masalah harga, karena sampai saat ini harga serat masih mahal. Namun demikian karena kebutuhan, maka beton serat sudah sering dipakai pada :

- (a) lapisan perkerasan jalan dan lapangan udara, untuk mengurangi retak dan mengurangi ketebalannya.
- (b) spillway pada dam untuk mengurangi kerusakan akibat adanya kavitas

(c) bagian beton yang tipis agar tidak mudah retak.

Serat yang dibuat dari polypropylene, nylon, atau tumbuhan karena modulus elastisitasnya yang rendah maka tampaknya kurang efektif dalam mengurangi retak namun dapat menambah ketahanan terhadap benturan.

Semen asbes sudah banyak dipakai untuk membuat pipa beton, papan tahan api, dan papan-asbes.

DAFTAR ACUAN :

5. Tjokrodimuljo K, “TEKNOLOGI BETON”, Nafiri, Yogyakarta, 1996
6. Sagel R., Kole P., Kusuma Gideon, “PEDOMAN Pengerjaan Beton”
Berdasarkan SKSNI-T15-1991-03.Seri Beton 2, Erlangga, Jakarta, 1994.
7. Vis - Kusuma, “DASAR-DASAR PERENCANAAN BETON
BERTULANG”,1994.
8. ACI Code and ASTM Standards.
9. Richards C.W, “ENGINEERING MATERIALS SCIENCE”, Belmont,
California,1961.

BAB II

PENGOLAHAN BETON

1. PENGADUKAN BETON

Proses pencampuran antara bahan-bahan dasar beton, yaitu semen, air, pasir dan kerikil, dalam perbandingan yang baik disebut proses pengadukan beton. Pengadukan ini dilakukan sampai warna adukan tampak rata, kelecakan yang cukup (tidak cair dan tidak padat), dan tampak campurannya juga homogen. Pemisahan butir-butir seharusnya tidak boleh terjadi selama proses pengadukan ini. Cara pengadukan dapat dilakukan dengan mesin atau tangan.

1.1 Pengadukan dengan tangan.

Pengadukan dengan tangan biasanya dilakukan apabila jumlah beton yang dibuat hanya sedikit. Cara ini juga dilakukan apabila tidak ada mesin aduk beton, atau tidak diinginkan suara berisik yang ditimbulkan oleh mesin.

Mula-mula semen dan pasir dicampur secara kering diatas tempat yang rata, bersih, keras dan tidak menyerap air. Pencampuran secara kering ini dilakukan sampai warnanya sama. Campuran yang kering ini kemudian dicampur dengan kerikil dan diaduk kembali sampai merata. Alat pencampur dapat berupa cangkul, sekop, atau cetok. Kemudian ditengah adukan tersebut dibuat lubang dan ditambahkan air sebanyak 75% dari jumlah air yang diperlukan, lalu adukan diulangi dan ditambahkan sisa air sampai adukan tampak merata.

1.2 Pengadukan dengan mesin.

Untuk pekerjaan-pekerjaan besar yang menggunakan beton dalam jumlah banyak, pengadukan dengan mesin dapat lebih murah dan memuaskan. Beton yang dibuat dengan mesin lebih homogen dan dapat dilakukan dengan faktor air semen yang lebih sedikit daripada bila diaduk dengan tangan.

2. PENGANGKUTAN ADUKAN BETON

Adukan beton yang dibuat dengan tangan maupun dengan mesin harus diangkut ke tempat penuangan sebelum semen mulai berhidrasi (bereaksi dengan air). Selama pengangkutan harus selalu dijaga agar tidak ada bahan-bahan yang tumpah/keluar atau yang memisahkan diri dari campuran. Cara pengangkutan adukan beton itu tergantung

jumlah adukan yang dibuat dengan keadaan tempat penuangan. Pengangkutan adukan beton dapat dilakukan dengan menempatkan didalam ember, gerobak dorong, truk-aduk-beton, ban berjalan atau pompa.

Umumnya pada proyek proyek kecil pengadukan beton dilakukan didekat lokasi penuangan, dan pengangkutan dikerjakan dengan ember atau gerobak dorong. Bila tempat pengadukan beton cukup jauh dari tempat penuangannya, pengangkutan dilakukan dengan truk-aduk-beton (truck molen). Biasanya karena waktu angkut cukup lama maka diperlukan bahan kimia tambahan untuk memperlambat proses ikatan awal dari semen.

Pengangkutan dengan pompa dan selang dilakukan bila antara tempat pengadukan beton dan tempat penuangan “cukup ramai” sehingga tidak dapat diangkut dengan ember atau gerobak dorong. Pada cara ini adukan beton harus encer.

Pengangkutan adukan beton dilakukan dengan ban-berjalan sangat baik bila pengangkutan berlangsung secara terus-menerus dan ditujukan ke tempat yang jauh lebih tinggi. Biasanya diperlukan adukan beton yang relative agak kental.

3. PENUANGAN ADUKAN BETON

Ditempat penuangan beton harus segera dipadatkan sebelum semen dan air mulai bereaksi (Pada umumnya semen mulai bereaksi dengan air satu jam setelah semen dicampur dengan air).

Hal-hal berikut harus diperhatikan selama penuangan dan pemadatan berlangsung.

- (a) Adukan beton harus dituang secara terus-menerus (tidak terputus) agar diperoleh beton yang seragam dan tidak terjadi garis batas.
- (b) Permukaan cetakan yang berhadapan dengan adukan beton harus diolesi minyak agar beton yang terjadi tidak melekat dengan cetakannya.
- (c) Selama penuangan dan pemadatan harus dijaga agar posisi cetakan maupun tulangan tidak berubah.
- (d) Adukan beton jangan dijatuhkan dengan tinggi jatuh lebih dari satu meter agar tidak terjadi pemisahan bahan-bahan pencampurnya.
- (e) Pengecoran tidak boleh dilakukan pada waktu turun hujan.
- (f) Sebaiknya tebal lapisan beton untuk setiap kali penuangan tidak lebih dari 45 cm pada beton massa, dan 30 cm pada beton bertulang.
- (g) Harus dijaga agar beton yang masih segar tidak diinjak.

4. PEMADATAN ADUKAN BETON

Pada prinsipnya pemadatan adukan beton disini ialah usaha agar sesedikit mungkin pori/rongga yang terjadi didalam betonnya. Pemadatan adukan beton dapat dilakukan secara manual atau dengan mesin. Pemadatan secara manual dilakukan dengan alat berupa tongkat baja atau tongkat kayu. Adukan beton yang baru saja dituangkan harus segera dipadatkan dengan cara ditusuk-tusuk dengan tongkat baja/kayu. Sebaiknya tebal beton yang ditusuk tidak lebih dari 15 cm. Penusukan dengan tongkat itu dilakukan beberapa waktu sampai tampak suatu lapisan mortar diatas permukaan beton yang dipadatkan itu. Pemadatan yang kurang mengakibatkan kurang baiknya mutu beton karena berongga.

Pemadatan dengan bantuan mesin dilakukan dengan alat getar (Vibrator). Alat getar itu mengakibatkan getaran pada beton segar yang baru saja dituang, sehingga mengalir dan menjadi padat. Penggetaran yang terlalu lama harus dicegah untuk menghindari mengumpulnya kerikil dibagian bawah dan hanya mortar yang ada dibagian atas.

Alat getar yang biasa dipakai ada 2 macam, yaitu :

- (a) alat getar intern (internal vibrator), ialah alat getar yang berupa “seperti tongkat”. Alat getar ini digetarkan dengan mesin dan dimasukkan ke dalam beton segar yang baru saja dituang.
- (b) alat getar cetakan (form vibrator; external vibrator), ialah alat getar yang ditempelkan dibagian luar cetakan sehingga cetakan bergetar dan membuat beton segar ikut bergetar pula sehingga dapat padat.

5. PEKERJAAN PERATAAN

Pekerjaan perataan disini yang dimaksud ialah pekerjaan sesudah adukan beton selesai dipadatkan, yaitu berupa perataan permukaan dari beton segar yang telah dipadatkan. Alat yang dipakai ialah cetok dan papan perata.

6. PERAWATAN BETON

Perawatan beton ialah suatu pekerjaan menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras. Kelembaban permukaan beton itu harus dijaga untuk menjamin proses hidrasi semen (reaksi semen dan pasir) berlangsung dengan sempurna. Bila hal ini tidak dilakukan, akan terjadi beton yang kurang kuat, dan juga timbul retak-retak. Selain itu,

kelembaban permukaan tadi juga menambah beton lebih tahan cuaca, dan lebih kedap air.

Beberapa cara perawatan beton yang biasa dilakukan ialah :

- (a) menaruh beton segar didalam ruangan yang lembab.
- (b) menaruh beton segar diatas genangan air.
- (c) menaruh beton segar didalam air
- (d) menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
- (e) menggenangi permukaan beton dengan air
- (f) menyirami permukaan beton setiap saat secara terus-menerus.

Cara a, b dan c dilakukan terhadap contoh beton yang berbentuk kubus atau silinder, adapun cara d, e dan f dilakukan untuk beton segar yang dituang dilapangan/diproyek.

7. SIFAT BETON SEGAR

Tiga hal sifat penting yang perlu diketahui dari sifat-sifat beton segar, yaitu :

(1) Kemudahan pengerjaan (workability)

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan maupun sifat bahan-bahan itu secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan beton segar. Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan dikerjakan antara lain :

- (a) Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Makin banyak air dipakai makin mudah beton segar itu dikerjakan.
- (b) Penambahan semen kedalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai fas tetap.
- (c) Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
- (d) Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
- (e) Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.
- (f) Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton biasanya dilakukan dengan percobaan slump. Makin besar nilai slump berarti adukan beton semakin encer dan ini berarti semakin mudah dikerjakan. Pada umumnya nilai slump berkisar antara 5 dan 12,5 cm. Percobaan slump. Percobaan slump (slump test) ialah suatu cara untuk mengukur kelecakan adukan beton, yaitu kecairan/kepadatan adukan yang berguna dalam pengerjaan beton. Percobaan ini menggunakan alat-alat sebagai berikut ini :

- (a) Corong baja yang berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya. Bagian bawah berdiameter 20 cm, adapun bagian atas berdiameter 10 cm, dan tinggi 30 cm.
- (b) Tongkat baja dengan diameter 16 mm dan panjang 60 cm. Bagian ujung baja ini dibulatkan.

Mula-mula corong baja ditaruh diatas tempat yang rata dan tidak menghisap air, dengan diameter yang besar dibawah dan diameter yang kecil diatas. Adukan beton dimasukan ke dalam corong tersebut dengan hati-hati dan corong dipegang erat-erat agar tidak bergerak. Jumlah adukan yang dimasukkan kira-kira sebanyak sepertiga volume corong. Setelah adukan telah masuk ke dalam corong lalu adukan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali dengan tongkat baja. Kemudian adukan kedua yang kira-kira volumenya sama dengan yang pertama tadi dimasukkan dan ditusuk-tusuk pula. Penusukan jangan sampai menusuk lapisan pertama. Bila lapisan kedua sudah ditusuk, lalu adukan ketiga dimasukkan dan ditusuk pula. Bila adukan ketiga telah selesai ditusuk, lalu permukaan adukan beton diratakan, sama dengan permukaan corong. Setelah itu tunggu 60 detik dan kemudian tarik corong lurus ke atas. Ukurlah penurunan permukaan atas adukan beton setelah corong ditarik. Besar penurunan adukan beton tersebut disebut nilai slump. Dari cara percobaan ini dapat diketahui bahwa lebih cair adukan akan diperoleh nilai slump lebih besar.

(2). Pemisahan kerikil

Kecenderungan butir-butir kerikil untuk memisahkan diri dari campuran adukan beton disebut “segregation”. Kecenderungan pemisahan kerikil ini diperbesar dengan :

- (a) campuran yang kurus (kurang semen)
- (b) terlalu banyak air
- (c) semakin besar butir kerikil
- (d) semakin kasar permukaan kerikil

Pemisahan kerikil dari adukan beton berakibat kurang baik terhadap betonnya setelah mengeras. Untuk mengurangi kecenderungan pemisahan kerikil tersebut maka diusahakan hal-hal sebagai berikut ;

- a. Air yang diberikan sesedikit mungkin
- b. Adukan beton jangan dijatuhkan dengan ketinggian terlalu besar
- c. Cara pengangkutan, penuangan maupun pemadatan harus mengikuti cara-cara yang betul.

(3). Pemisahan air

Kecenderungan air campuran untuk naik keatas (memisahkan diri) pada beton segar yang baru saja dipadatkan disebut “bleeding”. Air naik ke atas sambil membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada akhirnya setelah beton mengeras akan tampak sebagai lapisan selaput.

Lapisan ini dikenal sebagai “laitance”.

Pemisahan air ini dapat dikurangi dengan cara-cara berikut :

- Memberi lebih banyak semen.
- Menggunakan air sesedikit mungkin
- Menggunakan pasir lebih banyak.

DAFTAR ACUAN :

1. Tjokrodimuljo K, “Teknologi Beton”, Nafiri, Yogyakarta, 1996.
2. Sagel R., Kole P., Kusuma Gideon, “Pedoman Pengerjaan Beton,” Berdasarkan SKSNI-T15- 1991-03. Seri Beton 2, Erlangga, Jakarta, 1994.
3. Richards C. W., “Engineering Materials Science”, Belmont, California, 1961.

BAB III

PERANCANGAN CAMPURAN ADUKAN BETON

Pada saat ini dalam bidang pembuatan bangunan banyak digunakan beton mutu tinggi, sehingga kita dituntut untuk dapat merancang perbandingan campuran lebih tepat sesuai dengan teori perancangan proporsi campuran adukan beton. Pembuatan beton dengan perbandingan volume 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil untuk beton biasa dan 1 semen : 1,5 pasir : 2,5 kerikil untuk beton kedad air rupanya sudah kurang memuaskan lagi karena menghasilkan kuat tekan beton yang sangat beragam. Dalam Konsep Pedoman Beton 1989, perbandingan campuran volume di atas hanya boleh dilakukan untuk beton mutu kurang dari 10 Mpa, dan dengan slam yang tidak boleh lebih dari 100 mm.

Perencanaan adukan beton dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang sebaik-baiknya, yang antara lain dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Kuat tekannya tinggi
- b. Mudah dikerjakan
- c. Tahan lama (awet).
- d. Murah
- e. Tahan aus.

Pada bab berikut ini diuraikan tentang kuat tekan beton dan tata cara perancangan adukan beton.

3.1. KUAT TEKAN BETON

Telah diketahui bersama bahwa sifat beton pada umumnya lebih baik jika kuat tekannya lebih tinggi. Dengan demikian untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja. Dalam teori teknologi beton dijelaskan bahwa faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton ialah :

- (1) faktor air-semen dan kepadatan
- (2) umur beton
- (3) jenis semen
- (4) jumlah semen
- (5) sifat agregat.

(1) Faktor air - semen

Hubungan antara faktor air-semen (fas) dan kuat tekan beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan Duff Abrams (1919) sebagai berikut :

$$f_c = A/B^{1.5} \cdot X$$

dengan :

- f_c = kuat tekan beton
- X = fas (yang semula dalam proporsi volume)
- A, B = konstanta.

Dari rumus diatas tampak bahwa semakin rendah nilai faktor air-semen semakin tinggi kuat tekan betonnya, namun kenyataannya pada suatu nilai faktor air-semen tertentu semakin rendah nilai faktor air-semen kuat tekan betonnya semakin rendah pula, hal ini karena jika faktor air-semen terlalu rendah adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air-semen tertentu yang optimum yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum. Kepadatan adukan beton sangat mempengaruhi kuat tekan betonnya setelah mengeras. Adanya pori udara sebanyak 5 persen dapat mengurangi kuat tekan beton sampai 35 persen dan pori sebanyak 10 persen mengurangi kuat tekan beton sampai 60 persen.

Untuk mengatasi kesulitan pemadatan adukan beton dapat dilakukan dengan cara pemadatan dengan alat getar (vibrator), atau dengan memberi bahan kimia tambahan (chemical admixture) yang bersifat mengencerkan adukan beton sehingga lebih mudah dipadatkan.

(2) Umur beton

Kuat tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton itu. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain : faktor air semen dan suhu perawatan. Semakin tinggi f.a.s semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya.

(3) Jumlah semen

Jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton sebagaimana diuraikan sebagai berikut ini.

Jika faktor air-semen sama, (nilai slam berubah) beton dengan jumlah kandungan semen tertentu mempunyai kuat tekan tertinggi. Pada jumlah semen yang terlalu sedikit berarti jumlah air juga sedikit sehingga adukan beton sulit dipadatkan sehingga kuat

tekan beton rendah. Namun jika jumlah semen berlebihan berarti jumlah air juga berlebihan sehingga beton mengandung banyak pori dan akibatnya kuat tekan beton rendah.

Jika nilai slam sama, (nilai faktor air-semen berubah) beton dengan kandungan semen lebih banyak mempunyai kuat tekan lebih tinggi. Hal ini karena pada nilai slam sama jumlah air hampir sama, sehingga penambahan semen berarti pengurangan nilai faktor air-semen, yang berakibat penambahan kuat tekan beton.

(4) Sifat agregat

Pengaruh kekuatan agregat terhadap kekuatan beton sebenarnya tidak begitu besar karena umumnya kekuatan agregat lebih tinggi daripada pastanya. Meskipun demikian bila dikehendaki kekuatan beton yang tinggi, diperlukan juga agregat yang kuat agar kekuatannya tidak lebih rendah daripada pastanya.

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton ialah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya.

Permukaan yang halus pada kerikil dan kasar pada batu pecah berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak-retak beton mulai terbentuk. Oleh karena itu kekasaran permukaan ini berpengaruh terhadap bentuk kurve tegangan- regangan tekan beton, dan terhadap kekuatan betonnya. Akan tetapi bila adukan beton didasarkan pada nilai slam yang sama besar, pengaruh tersebut tidak tampak karena agregat yang permukaannya halus memerlukan air yang lebih sedikit, berarti faktor air semen rendah yang menghasilkan kuat tekan beton lebih tinggi.

Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonnya. Pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga antar butirnya, berarti sedikit pula pori-pori betonnya (karena pori-pori beton sebagian besar berada dalam pasta, tidak dalam agregat) sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Namun sebaliknya, karena butir-butir agregatnya besar maka luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat. Lagi pula karena butirannya besar menyebabkan sangat menghalangi susutan pastanya, sehingga retakan-retakan kecil pasta disekitar agregat lebih mudah terjadi. Kedua hal terakhir ini mengakibatkan kuat tekan beton rendah. Dengan alasan terakhir inilah maka pada beton kuat tekan tinggi dianjurkan memakai agregat dengan ukuran besar butir maksimum 20 mm.

3.2. PERANCANGAN MENURUT “ROAD NOTE NO. 4”

Cara perancangan adukan beton menurut “Road Note No.4” disimpulkan atas penelitian Glanville dkk. yang ditekankan pada pengaruh gradasi agregat terhadap kemudahan pengerjaan adukan beton.

Secara berurutan langkah-langkah perancangan menurut cara “Road Note No.4” ini ialah sebagai berikut.

- (1) Dihitung kuat tekan rata-rata beton yang akan dibuat, berdasarkan kuat tekan yang disyaratkan dalam buku Rencana Kerja dan Syarat (Bestek), f'_c (dalam PBI-1971 disebut kuat tekan karakteristik, misalnya K-175, K- 225, K- 350) dan nilai banding antara kuat tekan yang diisyaratkan dan kuat tekan rata-rata, yang tergantung pada cara pelaksanaan pengukuran bahan, tingkat kesempurnaan gradasi agregat, cara pengukuran kandungan air pada agregatnya dan tingkat pengawasannya.
- (2) Ditetapkan faktor air-semen berdasarkan kuat tekan rata-rata beton yang akan dibuat pada umur yang dikehendaki dan jenis semen yang dipakai.
- (3) Dibuat proporsi agregat dari masing-masing fraksi sehingga berimpit dengan salah satu kurva yang dimaksud.
- (4) Tetapkan proporsi berat antara agregat dan semen, berdasarkan ukuran maksimum agregat, nilai slam, gradasi agregat, bentuk agregat dan faktor air-semen.
- (5) Dihitung proporsi berat antara semen air dan agregat dengan dasar faktor air-semen dan proporsi antara agregat-semen yang diperoleh masing-masing langkah 2 dan 4.
- (6) Kebutuhan bahan dasar tiap meter kubik beton dihitung berdasarkan volume absolut, yaitu dengan berat jenis butir semen dan berat jenis agregat.

Prinsip dari hitungan ini ialah bahwa volume beton padat adalah sama dengan jumlah dari absolut volume bahan-bahan dasarnya.

$$\frac{S}{y_s \cdot y_{air}} + \frac{P_{psr} \cdot S}{y_{psr} \cdot y_{air}} + \frac{P_{krk} \cdot S}{y_{krk} \cdot y_{air}} + \frac{A \cdot S}{y_{air}} + 0,01 v = 1 \text{ m}^3$$

dengan :

y_s = berat jenis semen

y_{psr} = berat jenis pasir

-
- y_{krk} = berat jenis kerikil
 v = persentase udara dalam beton
 y_{air} = berat jenis air
 S = berat semen diperlukan untuk 1 m³ beton, ton
dan perbandingan berat dari bahannya adalah :
Semen : pasir : kerikil : air = 1 : P_{psr} : P_{krk} : A

Perhitungan dimulai dengan mengisikan semua faktor-faktor ke dalam rumus tersebut sampai hanya tinggal faktor S saja yang tersisa, sehingga nilai S dapat dihitung.

Selanjutnya jumlah air, pasir dan kerikil kemudian dihitung berdasarkan jumlah berat semen yang diperlukan. Sebagai kontrol, maka berat keempat bahan tersebut dijumlahkan menjadi berat beton per meter kubik, dan hasilnya jika hitungannya betul sekitar 2300 kg sampai 2400 kg.

3.3 PERANCANGAN MENURUT “AMERICAN CONCRETE INSTITUTE”

The American Concrete Institute (ACI) menyarankan suatu cara perancangan campuran yang memperhatikan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan yang diinginkan. Cara ACI ini melihat kenyataan bahwa pada ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air per meter kubik adukan menentukan tingkat konsistensi/kekentalan (slump) adukan itu.

Secara garis besar, urutan langkah perancangan menurut ACI ialah sebagai berikut.

- (1) Hitung kuat tekan rata-rata beton, berdasarkan kuat tekan yang disyaratkan (dulu disebut kuat tekan karakteristik) dan nilai margin yang tergantung tingkat pengawasan mutunya. Nilai margin ialah :

$$m = 1,64 \cdot s_d$$

dengan s_d ialah nilai deviasi standar. Kuat tekan rata-rata dihitung dari kuat tekan yang disyaratkan ditambah margin :

$$f'_{cr} = f'_c + m$$

- dengan : f'_{cr} = kuat tekan rata-rata, MPa
 f'_c = kuat tekan yang disyaratkan, MPa
 m = nilai margin, MPa

- (2) Tetapkan faktor air-semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki dan keawetannya (berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan). Dari dua hasil dipilih yang paling rendah.

- (3) Berdasarkan jenis strukturnya, tetapkan nilai slam dan ukuran maksimum agregatnya.
- (4) Tetapkan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang diinginkan.
- (5) Hitung semen yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah 2 dan 4 di atas.
- (6) Tetapkan volume agregat kasar yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus kehalusan agregat halusnya.
- (7) Hitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah air, semen, dan agregat kasar yang diperlukan, serta udara yang terperangkap dalam adukan, dengan cara hitungan volume absolut.

Cara ACI ini memiliki keterbatasan / kekuarangan antara lain :

- 1 Cara ACI ini didasarkan atas penelitian eksperimental untuk memperoleh proporsi bahan yang akan menghasilkan berbagai konsistensi. Agregat yang dipakai mempunyai bentuk dan gradasi yang memenuhi spesifikasi, sehingga bila agregat yang dipakai tidak sesuai akan diperoleh konsistensi yang berbeda.
- 2 Nilai modulus kehalusan agregat halus sebenarnya kurang menggambarkan gradasi agregat yang tepat, sehingga jumlah volume agregat kasar yang diperoleh pada langkah 6 kurang tepat.
3. Langkah 6 tersebut juga berdasarkan berat jenis butir agregat 2,68 sehingga perlu koreksi bila dipakai berat jenis butir agregat yang lain.

3.4 PERANCANGAN MENURUT CARA INGGRIS

Perancangan adukan beton cara Inggris (“The British Mix Design Method”) ini tercantum dalam “Design of Normal Concrete Mixes” telah menggantikan cara “Road Note No.4” sejak tahun 1975. Di Indonesia cara ini dikenal dengan cara DOE (“Department of Environment). Perencanaan dengan cara DOE ini dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia, dan dimuat dalam buku Standar No. SK.SNI.T-15-1990-03 dengan judul bukunya : “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”. Dalam perencanaan ini digunakan tabel-tabel dan grafik-grafik.

Langkah-langkah pokok cara ini ialah :

- (1). Penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan ($f'c'$) pada umur tertentu.

Kuat tekan beton yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat. Di Indonesia, yang dimaksudkan dengan kuat tekan beton yang disyaratkan ialah kuat tekan beton dengan kemungkinan lebih rendah dari nilai itu hanya sebesar 5% saja.

(2). Penetapan nilai deviasi standar (s).

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar s ini berdasarkan pada hasil pengalaman praktek pelaksana pada waktu yang lalu, untuk pembuatan beton mutu yang sama pula.

(a) Jika pelaksana mempunyai catatan data hasil pembuatan beton serupa pada masa yang lalu, maka persyaratannya (selain yang tersebut diatas) jumlah data hasil uji minimum 30 buah. (Satu data hasil uji kuat tekan adalah hasil rata-rata dari uji tekan dua silinder yang dibuat dari contoh beton yang sama dan diuji pada umur 28 hari atau umur pengujian lain yang ditetapkan).

(b) Jika pelaksana tidak mempunyai catatan/pengalaman hasil pengujian beton pada masa lalu yang memnuhi persyaratan tersebut (termasuk data hasil uji kurang dari 15 buah), maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 Mpa.

(3). Penghitungan nilai tambah (“margin”), (M).

Jika nilai tambah ini sudah ditetapkan sebesar 12 MPa maka langsung ke langkah 4. Jika nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar s_d maka dilakukan dengan rumus berikut :

$$M = k \cdot s_d$$

dengan : M = nilai tambah, MPa

$$k = 1,64$$

$$s_d = \text{deviasi standar, MPa}$$

(4). Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan.

Kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan diperoleh dengan rumus :

$$f'_{cr} = f'_c + M$$

dengan : f'_{cr} = kuat tekan rata-rata, MPa

$$f'_c = \text{kuat tekan yang disyaratkan, MPa}$$

$$M = \text{nilai tambah, Mpa}$$

(5). Penetapan jenis semen Portland.

Menurut PUBI 1982 di Indonesia semen Portland dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu jenis I, II, III, IV dan V. Jenis I merupakan jenis semen biasa, adapun jenis III merupakan jenis semen yang dipakai untuk struktur yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi, atau dengan kata lain sering disebut semen cepat mengeras.

- (6). Penetapan jenis agregat
Jenis kerikil dan pasir ditetapkan apakah berupa agregat alami (tak dipecahkan) ataukah agregat jenis batu pecah (crushed aggregate).
- (7). Tetapkan faktor air-semen dengan salah satu dari dua cara berikut :
 - (a) Cara pertama berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu.
 - (b) Cara kedua berdasarkan jenis semen yang dipakai, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai faktor air-semen.
- (8). Penetapan faktor air-semen maksimum.
Agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak misalnya, maka perlu ditetapkan nilai faktor air-semen maksimum.
- (9). Penetapan nilai slump.
Penetapan nilai slam dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan, pemadatan maupun jenis strukturnya. Cara pengangkutan adukan beton dengan aliran dalam pipa yang dipompa dengan tekanan membutuhkan nilai slam yang besar, adapun pemadatan adukan dengan alat getar (triller) dapat dilakukan dengan nilai slam yang agak kecil.
- (10). Penetapan besar butir agregat maksimum.
Penetapan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan nilai terkecil dari ketentuan-ketentuan berikut :
 - a. Tiga per empat kali jarak bersih minimum antar baja tulangan, atau berkas baja tulangan atau tendon prategang atau selongsong.
 - b. Sepertiga kali tebal plat
 - c. Seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan.
- (11). Tetapkan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat dan slam yang diinginkan.
- (12). Hitung berat semen yang diperlukan.
- (13). Kebutuhan semen minimum.

Kebutuhan semen minimum ini ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus, misalnya lingkungan korosif, air payau dan air laut.

- (14). Penyesuaian kebutuhan semen.

Apabila kebutuhan semen yang diperoleh dari 12 ternyata lebih sedikit daripada kebutuhan semen minimum 13 maka kebutuhan semen harus dipakai yang minimum (yang nilainya lebih besar).

- (15). Penyesuaian jumlah air atau faktor air-semen.

Jika jumlah semen ada perubahan akibat langkah 14 maka nilai faktor air-semen berubah. Dalam hal ini dapat dilakukan dua cara berikut :

- a. Cara pertama, faktor air-semen dihitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.
- b. Cara kedua, jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air-semen.

Catatan : Cara pertama akan menurunkan faktor air-semen, sedangkan cara kedua akan menaikkan jumlah air yang diperlukan.

- (16). Penentuan daerah gradasi agregat halus.

Berdasarkan gradasi (hasil analisis ayakan) agregat halus yang akan dipakai dapat diklasifikasikan menjadi 4 daerah.

- (17). Perbandingan agregat halus dan agregat kasar.

Nilai banding antara berat agregat halus dan agregat kasar diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Pada langkah ini dicari nilai banding antara berat agregat halus dan berat agregat campuran. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slam, faktor air-semen, dan daerah gradasi agregat halus.

- (18). Berat jenis agregat campuran.

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus :

$$B_j \text{ camp} = \frac{P}{100} \times b_j \text{ ag.hls} + \frac{K}{100} \times b_j \text{ ag.kar}$$

dengan :

$B_j \text{ camp}$ = berat jenis agregat campuran

$b_j \text{ ag.hls}$ = berat jenis agregat halus

$b_j \text{ ag.ksr}$ = berat jenis agregat kasar

P = persentase agregat halus terhadap agregat campuran

K = persentase agregat kasar terhadap agregat campuran

Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, namun jika tidak ada dapat diambil sebesar 2,60 untuk agregat tak dipecah/alami dan 2,70 untuk agregat pecahan.

(19). Penentuan berat jenis beton.

Dengan data berat jenis agregat campuran dari langkah 18 dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya.

(20). Kebutuhan agregat campuran.

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per-meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen.

(21). Hitung berat agregat halus yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah 17 dan 20. Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halus.

(22). Hitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah 20 dan 21. Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

Dalam perhitungan di atas, agregat halus dan agregat kasar dianggap dalam keadaan jenuh kering-muka, sehingga di lapangan yang pada umumnya keadaan agregatnya tidak jenuh kering-muka maka harus dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya. Koreksi harus selalu dilakukan minimum satu kali per hari.

Hitungan koreksi dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

1) Air $= A - [(Ah-A1)/100] \times B - [(Ak-A2)/100] \times C$

2) Agregat halus $= B + [(Ah - A1)/100] \times B$

3) Agregat kasar $= C + [(Ak - A2)/100] \times C$

dengan :

A = jumlah kebutuhan air (liter/m³)

B = jumlah kebutuhan agregat halus (kg/m³)

C = jumlah kebutuhan agregat kasar (kg/m³)

Ah = kadar air sesungguhnya dalam agregat halus (%)

Ak = kadar air sesungguhnya dalam agregat kasar (%)

A1 = kadar air pada agregat halus jenuh kering-muka (%)

A2 = kadar air pada agregat kasar jenuh kering-muka (%).

Cara Inggris/ Standar Departemen Pekerjaan Umum ini memiliki kekurangan, antara lain :

- (1) Jenis agregat yang hanya ditetapkan sebagai batu-pecah dan alami saja tampaknya sulit, karena sering walaupun agregat alami tetapi bentuk dan permukaannya tidak bulat atau halus. Kekasaran permukaan butir merupakan hal yang sulit diukur, dan ini berpengaruh terhadap jumlah air yang diperoleh pada langkah 11.
- (2) Diagram proporsi agregat halus terhadap agregat total yang dipakai pada langkah 16 sulit mendapatkan hasil yang tepat. Hal ini selain karena diagram itu merupakan daerah, juga karena gradasi agregat halus yang tersedia kadang-kadang tidak berimpit dengan salah satu kurve dari 4 kurve gradasi yang disediakan.
- (3) Diagram hubungan antara faktor air-semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton tidak sama untuk berbagai jenis agregat yang dipakai untuk beton, sehingga sebaiknya dipakai diagram yang sesuai untuk tiap agregat yang dipakai

3.5 CAMPURAN CARA COBA-COBA

Selain ketiga cara tersebut diatas (yaitu Road Note No.4 , ACI dan Inggris/Departemen PU), ada pula suatu cara lain untuk memperoleh proporsi adukan beton yaitu cara coba-coba (Trial and error method of mix design). Cara coba- coba ini mendasarkan pada percobaan untuk memperoleh campuran dengan pori-pori yang minimum atau kepadatan maksimum. Agregat halus dalam jumlah tertentu ditaburkan untuk mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat kasar dan sejumlah tertentu pasta semen dipakai untuk mengisi rongga-rongga antara butir-butir campuran agregat tersebut. Proporsi antara agregat halus terhadap agregat kasar ditetapkan dengan coba-coba, yaitu sampai diperoleh campuran yang mempunyai berat satuan tertinggi.

Campuran agregat dengan cara ini menghasilkan proporsi agregat halus yang optimum sehingga membutuhkan semen minimum per meter kubik beton, dan juga mendapatkan harga beton termurah pada faktor air- semen dan slam yang sama. Bila agregat halus lebih banyak mengakibatkan diperlukan semen lebih banyak untuk mencapai kelecakan / konsistensi adukan yang sama. Sebaliknya bila agregat halus lebih sedikit adukan menjadi kasar dan memerlukan semen lebih banyak untuk menghaluskannya.

Langkah - langkah cara coba-coba ini ialah sebagai berikut.

- (1) Tetapkan faktor air-semen, misalnya dengan berdasarkan kuat tekan rata-rata yang ingin diperoleh.

-
- (2) Carilah proporsi antara agregat halus dan agregat kasar dengan cara coba-coba, sehingga diperoleh berat satuan campuran yang maksimum dengan percobaan. Caranya ialah :
Mula-mula agregat kasar dimasukkan ke dalam bejana dalam lapisan yang tipis, kemudian ditaburkan agregat halus di atasnya, lalu diketuk-ketuk dengan pelan agar agregat halus masuk ke dalam rongga agregat kasar. Demikian diteruskan untuk lapisan-lapisan berikutnya. Proporsi agregat halus dan agregat kasar dikatakan mencapai optimum jika berat satuan campurannya maksimum.
 - (3) Carilah proporsi antara pasta semen dan agregat campuran sehingga diperoleh kelecakan (diukur dengan percobaan slam) yang diinginkan dengan percobaan. Percobaan dilakukan dengan memasukkan sedikit demi sedikit pasta semen yang dibuat dengan faktor air-semen yang sesuai dengan langkah 1 kedalam campuran agregat yang diperoleh dari langkah 2.
 - (4) Hitung berat masing-masing bahan yang masuk kedalam adukan beton, kemudian dihitung pula proporsi antara bahan-bahan tersebut, yaitu : semen, air, agregat halus dan agregat kasar.
 - (5) Benda uji diuji setelah mencapai usia tertentu, misalnya 28 hari untuk mengetahui hasil kuat tekannya.
 - (6) Proporsi adukan beton diatur kembali bila hasilnya kurang memuaskan, misalnya dengan mengubah faktor air-semen atau proporsi antara agregat dan semennya.

Cara coba-coba ini memiliki kekurangan, antara lain pada pelaksanaan langkah 2. Pelaksanaan ini mengandung resiko, karena apabila mengetuknya terlalu keras agregat kasar akan “lari mengambang” ke atas dan agregat halus turun menyusup ke bawah sehingga tidak jadi mengisi rongga-rongga sebagaimana yang diharapkan.

3.6 CARA PERENCANAAN CAMPURAN DI LABORATORIUM

Setelah mempelajari beberapa cara perencanaan campuran adukan beton di depan dan melihat kekurangan-kekurangan dari masing-masing cara tersebut, serta banyaknya faktor yang mempengaruhi kelecakan adukan beton segar maupun kekuatan beton kerasnya tetapi sulit mengukurnya, maka tampak bahwa cara campuran coba-coba merupakan cara yang paling sederhana untuk dilakukan di laboratorium maupun di lapangan bila alatnya tersedia, misalnya timbangan, tungku pengering dan sebagainya.

Cara ini merupakan kombinasi antara cara “Road Note No.4” dan cara coba-coba (Tjokrodimuljo, 1989).

Pada cara ini untuk memperoleh proporsi berat antara agregat kasar dan agregat halus yang optimum (yang pada cara coba-coba dilakukan dengan menaburkan pasir kedalam kerikil) dilakukan dengan analisis gradasi. Dengan analisis gradasi diperoleh gradasi agregat campuran yang lebih teliti. Cara analisis gradasi ini mempunyai kelebihan, misalnya :

- a) gradasi masing-masing (yaitu pasir maupun kerikil) tidak harus memenuhi gradasi standar, karena yang penting adalah gradasi campurannya.
- b) tidak terjadi kesalahan akibat terlalu kerasnya mengetuk-ketuk bejana sewaktu pencampuran agregat halus dan agregat kasar dilakukan.

CAMPURAN COBA-COBA

Perlu dicatat bahwa setiap hasil hitungan perencanaan adukan beton harus dikontrol dengan uji coba berupa campuran percobaan (trial mixes) untuk memastikan hasilnya. Hal ini karena bahan-bahan dasar beton sangat variabel dan banyak dari sifat bahan tersebut tidak dapat diukur secara benar. Jadi sebenarnya, hitungan perencanaan adukan tersebut hanyalah perhitungan awal yang berguna untuk membuat campuran percobaan, agar hasil yang diperoleh dari hasil campuran percobaan tidak menyimpang terlalu jauh.

Dalam Draft Pedoman Beton 1989 pasal 4.3.3.2 dicantumkan bahwa campuran coba yang mempunyai proporsi dan konsistensi yang diperlukan untuk pekerjaan yang diusulkan harus dibuat paling sedikit sebanyak tiga nilai faktor air-semen yang berbeda atau tiga kandungan semen yang berbeda. Setiap nilai faktor air-semen atau kandungan semen, harus dibuat minimal tiga silinder uji. Silinder-silinder uji tersebut kemudian diuji pada umur uji 28 hari atau umur uji lain yang ditetapkan untuk memperoleh kuat tekan rata-rata. Dari hasil uji silinder tersebut kemudian dibuat suatu grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai faktor air-semen atau kandungan semen dan kuat tekan silinder betonnya sehingga dapat dicari secara interpolasi nilai faktor air-semen yang tepat.

Dari uraian dalam bab ini terutama tentang uraian faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton, tampak bahwa banyak sekali faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton (maupun kelecakan adukan beton) yang bersifat “individual” dari bahan yang dipakai. Oleh karena itu, walaupun banyak teori perencanaan campuran yang

dapat dipakai, yang tampaknya akan menghasilkan sebagaimana yang diharapkan, tetapi sebenarnya hanya suatu pedoman saja untuk melakukan campuran coba.

Oleh karena itu, campuran coba masih tetap perlu dilakukan. Dengan mencoba-coba sebanyak tiga macam campuran dengan faktor air-semen berbeda, yang tentunya disekitar kuat tekan rata-rata yang diharapkan, maka akan diperoleh suatu gambaran campuran adukan beton yang cukup memuaskan.

BAB IV

KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK BETON

Penekanan konsep inti tentang hubungan yang erat antara sifat dan perilaku bahan dengan struktur intern bahan sangat menentukan proses pembentukan beton.

Perencanaan adukan beton dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang sebaik-baiknya, yang antara lain kuat tekannya tinggi, mudah dikerjakan, tahan lama (awet), murah, tahan aus.

1. KUAT TEKAN BETON

Sifat beton pada umumnya lebih baik jika kuat tekannya lebih tinggi. Dengan demikian untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja. Dalam teori teknologi beton dijelaskan bahwa faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton ialah :

- (1) faktor air-semen dan kepadatan
- (2) umur beton
- (3) jenis semen
- (4) jumlah semen
- (5) sifat agregat.

(1) Faktor air semen

Hubungan antara faktor air-semen (fas) dan kuat tekan beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan Duff Abrams (1919) sebagai berikut :

$$f_c = A/B^{1.5} \cdot X$$

dengan :

f_c = kuat tekan beton

X = fas (yang semula dalam proporsi volume)

A, B = konstanta.

Dari rumus diatas tampak bahwa semakin rendah nilai faktor air semen semakin tinggi kuat tekan betonnya, namun kenyataannya pada suatu nilai faktor air semen tertentu semakin rendah nilai faktor air semen kuat tekan betonnya semakin rendah pula, hal ini karena jika faktor air semen terlalu rendah adukan beton sulit

dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen tertentu yang optimum yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum. Kepadatan adukan beton sangat mempengaruhi kuat tekan betonnya setelah mengeras. Adanya pori udara sebanyak 5 persen dapat mengurangi kuat tekan beton sampai 35 persen dan pori sebanyak 10 persen mengurangi kuat tekan beton sampai 60 persen. Untuk mengatasi kesulitan pemadatan adukan beton dapat dilakukan dengan cara pemadatan dengan alat getar (vibrator), atau dengan memberi bahan kimia tambahan (chemical admixture) yang bersifat mengencerkan adukan beton sehingga lebih mudah dipadatkan.

(2) Umur beton

Kuat tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton itu. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain : faktor air semen dan suhu perawatan. Semakin tinggi f.a.s semakin lambat kenaikan kekuatannya, dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatannya.

(3) Jenis semen

Menurut SII 0031-81 semen Portland dibagi menjadi lima jenis sebagai berikut :

- Jenis I : Semen untuk penggunaan umum, tidak memerlukan persyaratan khusus.
 - Jenis II : Semen untuk beton tahan sulfat dan mempunyai panas hidrasi sedang.
 - Jenis III : Semen untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras)
 - Jenis IV : Semen untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah.
 - Jenis V : Semen untuk beton yang sangat tahan terhadap sulfat.
- Jenis-jenis semen tersebut mempunyai laju kenaikan kekuatan yang berbeda.

(4) Jumlah semen

Jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Jika faktor air-semen sama, (nilai slam berubah) beton dengan jumlah kandungan semen tertentu mempunyai kuat tekan tertinggi. Pada jumlah semen yang terlalu sedikit berarti jumlah air juga sedikit sehingga adukan beton sulit dipadatkan sehingga kuat tekan beton rendah. Namun jika jumlah semen berlebihan berarti

jumlah air juga berlebihan sehingga beton mengandung banyak pori dan akibatnya kuat tekan beton rendah.

Jika nilai *slam* sama, (nilai faktor air semen berubah) beton dengan kandungan semen lebih banyak mempunyai kuat tekan lebih tinggi. Hal ini karena pada nilai *slam* sama jumlah air hampir sama, sehingga penambahan semen berarti pengurangan nilai faktor air semen, yang berakibat penambahan kuat tekan beton.

(5) Sifat agregat

Pengaruh kekuatan agregat terhadap kekuatan beton sebenarnya tidak begitu besar karena umumnya kekuatan agregat lebih tinggi daripada pastanya. Meskipun demikian bila dikehendaki kekuatan beton yang tinggi, diperlukan juga agregat yang kuat agar kekuatannya tidak lebih rendah daripada pastanya. Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton ialah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya.

Permukaan yang halus pada kerikil dan kasar pada batu pecah berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak-retak beton mulai terbentuk. Oleh karena itu kekasaran permukaan ini berpengaruh terhadap bentuk kurve tegangan - regangan tekan beton, dan terhadap kekuatan betonnya. Akan tetapi bila adukan beton didasarkan pada nilai *slam* yang sama besar, pengaruh tersebut tidak tampak karena agregat yang permukaannya halus memerlukan air yang lebih sedikit, berarti faktor air semen rendah yang menghasilkan kuat tekan beton lebih tinggi.

Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonnya. Pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta lebih sedikit untuk mengisi rongga antar butirnya, berarti sedikit pula pori-pori betonnya (karena pori-pori beton sebagian besar berada dalam pasta, tidak dalam agregat) sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Namun sebaliknya, karena butir-butir agregatnya besar maka luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat. Lagi pula karena butirannya besar menyebabkan sangat menghalangi susutan pastanya, sehingga retakan-retakan kecil pasta disekitar agregat lebih mudah terjadi. Kedua hal terakhir ini mengakibatkan kuat tekan beton rendah. Dengan alasan

terakhir inilah maka pada beton kuat tekan tinggi dianjurkan memakai agregat dengan ukuran besar butir maksimum 20 mm.

BAB V

PROSES PEMBUATAN DAN PERILAKU BAJA

Topik ke : V

Judul topik : Proses Pembuatan dan Perilaku Baja

Waktu : 3 jam kuliah

Tujuan :

1. Tujuan Instruksional Umum:

Mahasiswa dapat memahami proses pembuatan dan perilaku baja.

2. Tujuan Instruksional Khusus:

Setelah mengikuti uraian perkuliahan topik ini, mahasiswa dapat mengetahui perkembangan proses pembuatan baja dan sifat-sifat baja.

Pokok Bahasan :

Menguraikan proses pembuatan dan perilaku baja.

Sub Pokok Bahasan :

1. Proses dasar pembuatan baja dan perkembangannya.
2. Jenis baja karbon.
3. Pengaruh unsur campuran.
4. Perlakuan panas pada baja.

Pustaka :

1. Hari Amanto, Daryanto, "Ilmu Bahan", Penerbit Bumi Aksara, Jakarta, 1999.
2. Lawrence H. Van Vlack, "Ilmu dan Teknologi Bahan", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.
3. Tata Surdia, Shinroku Saito, "Pengetahuan Bahan Teknik", Pradnya Paramita, Jakarta, 1999.

BAB V

PROSES PEMBUATAN DAN PERILAKU BAJA

1. PROSES DASAR DALAM PEMBUATAN BAJA

Proses pembuatan baja dapat dilakukan berdasarkan proses asam dan basa yang berhubungan dengan sifat kimia yang menghasilkan terak dari lapisan dapur.

Proses asam digunakan untuk memurnikan besi kasar yang persentasenya rendah dalam fosfor dan sulfur. Besi kasar ini dihasilkan dari bijih besi yang kaya silikon yang akan menghasilkan terak asam. Lapisan dapur dibangun dari batu silika (SiO_2) dan mempunyai sifat yang sama dengan terak, sehingga mencegah reaksi antara unsur fosfor dengan lapisan dapur.

Proses basa digunakan untuk memurnikan besi kasar yang kaya fosfor. Unsur itu hanya dapat dikeluarkan apabila digunakan sejumlah besar dari batu kapur selama berlangsung proses pemurnian, sehingga akan menghasilkan terak. Lapisan dapur harus terbuat dari batu kapur untuk mencegah reaksi antara lapisan dapur dengan unsur silikon.

2. PERKEMBANGAN PROSES PEMBUATAN BAJA

Pembuatan baja telah dilakukan di Asia sekitar awal ke-14 yang berdasarkan atas penyerapan karbon sewaktu besi dipanaskan dalam atmosfer yang kaya dengan karbon. Dalam proses ini besi tempa dibungkus atau dikelilingi dengan serbuk arang kayu didalam tromol. Kemudian tromol ditutup dan dipanaskan untuk beberapa hari sehingga karbon diserap oleh besi dan membentuk sementit pada permukaan besi tempa. Proses seperti itu disebut proses segmentasi. Setelah proses segmentasi selesai maka batangan besi dipanaskan kembali dan ditempa yang membuat pendistribusian karbon ke arah melintang, tetapi biasanya pendistribusian karbon ke arah melintang, tetapi biasanya pendistribusian yang baik tidak pernah diperoleh. Proses itu telah berhasil membuat peralatan kecil seperti mata pahat potong, dan sekarang pekerjaan seperti itu digunakan proses karburasi sewaktu dilakukan penyepuhan.

Dalam proses cawan yang merupakan salah satu proses pencampuran dan proses yang sebenarnya dalam pengerjaan besi tempa adalah proses segmentasi. Unsur-unsur campuran yang telah cair didalam dapur cawan yang berkapasitas 20 kg dituangkan kedalam cetakan setelah terak dikeluarkan terlebih dahulu. Proses ini menghasilkan baja yang berkualitas baik tetapi tingkat produksinya rendah.

Baja dapat dihasilkan dengan mengembuskan udara melalui besi kasar cair didalam dapur yang disebut “konvertor”, sehingga unsur-unsur yang tidak murni akan dikeluarkan dengan jalan oksidasi. Pada waktu itu cara pembuatan jalan kereta api dan pembuatan peralatan hampir sama pentingnya. Proses itu, secara potensial merupakan cara yang baik untuk menghasilkan baja, karena sejak udara dimasukkan atau diembuskan, kotoran-kotoran didalam baja akan berkurang.

Proses Bessemer mengolah baja dengan menggunakan besi kasar berkualitas baik yang mengandung fosfor rendah. Bila fosfornya tinggi baja yang dihasilkan berkualitas rendah, sebab dalam proses pengolahan tidak seluruh fosfor dapat dikeluarkan.

Masalah pengeluaran unsur fosfor telah dapat dipecahkan pada proses Dapur Thomas, dengan menggunakan batu kapur pada lapisan dasar dapur. Sehingga sampai saat ini proses Thomas digunakan untuk memproses besi kasar yang kaya dengan fosfor.

3. PROSES PEMBUATAN BAJA SECARA MODERN

Dewasa ini telah digunakan beberapa cara modern dalam pembuatan baja. Ada beberapa proses dalam pembuatan baja secara modern, yaitu ;

a. Proses Menggunakan Konvertor

Konvertor terbuat dari pelat baja dengan mulut terbuka (untuk memasukkan bahan baku dan mengeluarkan cairan logam) serta dilapisi batu tahan api. Konvertor diikatkan pada suatu tap yang dapat berputar sehingga konvertor dapat digerakkan pada posisi horizontal untuk memasukkan dan mengeluarkan bahan yang diproses dan pada posisi vertikal untuk mengembuskan selama proses berlangsung. Konvertor ini dilengkapi dengan pipa yang berlubang kecil (diameternya sekitar 15-17 mm) dalam jumlah yang banyak (sekitar 120 - 150 buah pipa) yang terletak pada bagian bawah konvertor.

Sewaktu proses berlangsung udara diembuskan kedalam konvertor melalui pipa saluran dengan tekanan sekitar $1,4 \text{ kg/cm}^2$ dan langsung diembuskan kecairan untuk mengoksidasi dengan penambahan besi kasar yang kaya akan mangan, seterusnya baja cair dituangkan kedalam panci-panci dan dipadatkan menjadi batang-batang cetakan. Kapasitas konvertor sekitar 25-60 ton dan setiap proses memerlukan waktu 2,5 menit. Proses pembuatan baja yang menggunakan konvertor adalah sebagai berikut.

1. Proses Bessemer

Proses Bessemer adalah suatu proses pembuatan baja yang dilakukan didalam konverter yang mempunyai lapisan batu tahan api dari kuarsa asam atau oksida asam (SiO_2), sehingga proses ini disebut “Proses Asam”. Besi kasar yang diolah dalam konverter ini adalah besi kasar kelabu yang kaya akan unsur silikon dan rendah fosfor (kandungan fosfor maksimal adalah 0,1%). Besi kasar yang mengandung fosfor rendah diambil karena unsur fosfor tidak dapat direduksi dari dalam besi kasar apabila tidak diikat dengan batu kapur. Disamping itu fosfor dapat bereaksi dengan lapisan dapur yang terbuat dari kuarsa asam, reaksi ini membahayakan atau menghabiskan lapisan konverter. Oleh karena itu, sangat menguntungkan apabila besi kasar yang diolah dalam proses ini adalah besi kasar kelabu yang mengandung silikon sekitar 1,5% - 2%.

Dalam proses ini bahan baku dimasukkan dan dikeluarkan sewaktu konverter dalam posisi horizontal (kemiringannya sekitar 30°). Sementara itu, udara diembuskan dalam posisi vertikal atau disebut juga kedudukan proses.

Dalam konverter, yang pertama terjadi adalah proses oksidasi unsur silikon yang menghasilkan oksidasi silikon. Kemudian diikuti oleh proses oksidasi unsur fosfor dan mangan yang menghasilkan oksida fosfor dan oksida mangan, ditandai dengan adanya bunga api yang berwarna kehijau-hijauan.

Proses oksidasi yang terakhir adalah mengoksidasi karbon. Proses ini berlangsung disertai dengan suara gemuruh dan nyala api berwarna putih dengan panjang sekitar 2 meter, kemudian nyala api mengecil. Sebelum nyala api padam, ditambahkan besi kasar yang banyak mengandung mangan, kemudian baja cair dituangkan ke dalam panci-panci tuangan dan dipadatkan dalam bentuk batang-batang baja.

2. Proses Thomas

Proses Thomas adalah suatu proses pembuatan baja yang dilakukan didalam konverter yang bagian dalamnya dilapisi dengan batu tahan api dari bahan karbonat kalsium dan magnesium karbonat ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) yang disebut “dolomit”. Proses ini disebut juga proses basa karena lapisan konverter terbuat dari dolomit dan hanya mengolah besi kasar putih yang kaya dengan fosfor (sekitar 1,7 - 2%) dan mengandung unsur silikon rendah (sekitar 0,6 - 0,8%).

Proses ini makin baik hasilnya apabila besi kasar yang diolah mengandung unsur silikon yang sangat rendah.

Dalam proses ini udara diembuskan ke cairan besi kasar di dalam konverter melalui pipa saluran udara, sehingga terjadi proses oksidasi didalam cairan terhadap unsur-unsur campuran. Pertama kali unsur yang dioksidasi adalah silikon (Si), kemudian mangan (Mn), dan fosfor (P). Oksidasi unsur fosfor terjadi cepat sekali, sekitar 3 - 5 menit dan proses oksidasi yang terakhir adalah unsur karbon disertai suara gemuruh dan nyala api yang tinggi. Apabila nyala api sudah mengecil dan kemudian padam berarti proses oksidasi telah selesai.

Proses oksidasi yang terjadi pada unsur-unsur didalam besi kasar menghasilkan oksida yang akan dijadikan terak dengan jalan menambahkan batu kapur ke dalam konverter. Selanjutnya terak cair dikeluarkan dari dalam konverter, diikuti dengan penuangan baja cair kedalam panci-panci tuangan kemudian dipadatkan menjadi batangan baja.

3. Proses Siemens Martin

Proses tungku terbuka disebut juga proses Siemens Martin, yang disesuaikan dengan nama ahli penemu proses tersebut. Proses ini digunakan untuk menghasilkan baja yang mengandung karbon sedang dan rendah dengan cara proses asam atau basa, sesuai dengan sifat lapisan dapurnya.

Proses ini berlangsung didalam dapur tungku terbuka atau dapur Siemen Martin yang mempunyai kapasitas 150-300 ton, bahan bakarnya gas yang dihasilkan dengan pembakaran kokas diatas tungku atau bahan bakar minyak. Dapur ini menggunakan prinsip regenerator (hubungan balik) dan tungku pemanas dapat mencapai temperatur sekitar 900-1.200⁰C, tungku pemanas ini bisa mencapai temperatur tinggi apabila diperlukan, dan pada waktu yang sama menghemat bahan bakar. Dalam proses ini dapur diisi dengan besi kasar dan baja bekas, kemudian dicairkan sehingga beberapa unsur campuran terbentuk menjadi terak diatas permukaan cairan besi, tambahkan bijih besi atau serbuk besi yang berguna untuk mereduksi karbon, maka lubang pengeluaran dapur dibuka dan cairan dituangkan ke dalam panci-panci tuangan. Baja cair meninggalkan dapur sebelum terak cair dan beberapa terak dapat dicegah meninggalkan dapur sampai seluruh baja cair dikeluarkan, kemungkinan terak ikut tertuang kedalam panci yang berukuran kecil.

Baja cair yang telah penuh didalam panci dituangkan kedalam cetakan melalui bagian bawah cetakan, sehingga terak tetap didalam panci dan terakhir dikeluarkan. Selain itu, dapat pula dipisahkan dengan cara menuanginya kedalam cetakan yang lebih kecil.

Setiap melakukan proses pemurnian besi kasar dan bahan tambahan lainnya berlangsung selama 12 jam, kemudian diambil sejumlah baja cair sebagai contoh untuk dianalisis komposisinya. Sementara itu, terak yang dihasilkan dari proses basa digunakan sebagai pupuk buatan.

b. Proses Dapur Listrik

Baja yang berkualitas tinggi dihasilkan apabila dilakukan pengontrolan temperatur peleburan dan memperkecil unsur-unsur campuran didalam baja yang dilakukan selama proses pemurnian. Proses pengolahan seperti ini dilakukan dengan menggunakan dapur listrik. Pada awal pemurnian baja menggunakan dapur tungku terbuka atau konvertor, selanjutnya dilakukan didalam dapur listrik sehingga diperoleh baja yang berkualitas tinggi.

Dapur listrik terdiri dari dua jenis, yaitu dapur listrik busur nyala dan dapur induksi frekuensi tinggi.

1) Dapur listrik busur nyala

Dapur ini mempunyai kapasitas 25 - 100 ton dan dilengkapi dengan tiga buah elektroda karbon yang dipasang pada bagian atas atau atap dapur, disetel secara otomatis untuk menghasilkan busur nyala yang secara langsung memanaskan dan mencairkan logam.

Dapur ini dapat mengolah logam dengan proses asam atau basa sesuai dengan lapisan batu tahan apinya dan bahan yang dimasukkan kedalam dapur (besi kasar), termasuk logam bekas (baja atau besi) yang terlebih dahulu diketahui komposisinya. Apabila dilakukan proses basa maka terjadi oksidasi terak dari batu kapur atau bubuk kapur untuk mereduksi unsur-unsur campuran. Selanjutnya diperoleh pemisahan terak (mengandung batu kapur) dari baja cair. Juga dapat ditambahkan dengan logam campur sebelum cairan dikeluarkan dari dalam dapur untuk mencegah oksidasi.

2) Dapur induksi frekuensi tinggi

Dapur ini terdiri dari kumparan yang dililit kawat mengelilingi cawan batu tahan api, ketika tenaga yang dialirkan dari listrik, akan menghasilkan arus

listrik yang bersikulasi didalam logam yang menyebabkan terjadinya pencairan. Apabila bahan logam telah cair maka arus listrik membuat gerak mengaduk (berputar). Kapasitas dari dapur jenis ini adalah 350 kg - 6 ton pada umumnya dapur ini digunakan untuk memproduksi baja paduan yang khusus.

4. JENIS BAJA KARBON

Baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah kandungan karbonnya. Baja karbon terdiri atas tiga macam, yaitu baja karbon rendah, sedang, dan tinggi.

a. Baja Karbon Rendah

Baja ini disebut baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas, baja karbon rendah bukan baja yang keras, karena kandungan karbonnya rendah kurang dari 0,3%.

Baja ini dapat dijadikan mur, baut, ulir sekrup, peralatan senjata, alat pengangkat presisi, batang tarik, perkakas silinder, dan penggunaan yang hampir sama.

Penggilingan dan penyesuaian ukuran baja dapat dilakukan dalam keadaan panas. Hal itu dapat ditandai dengan melihat lapisan oksida besinya di bagian permukaan yang berwarna hitam.

Baja juga dapat diselesaikan dengan pengerjaan dingin dengan cara merendam atau mencelupkan baja ke dalam larutan asam yang berguna untuk mengeluarkan lapisan oksidanya. Setelah itu, baja diangkat dan digiling sampai ukuran yang dikehendaki, selanjutnya didinginkan. Proses ini menghasilkan baja yang lebih licin, sehingga lebih baik sifatnya dan bagus untuk dibuat mesin perkakas.

b. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3 - 0,6% dan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Proses pengerjaan panas menaikkan kekuatan baja dengan cara digiling. Baja karbon sedang digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, poros bubungan, poros engkol, sekrup sungkup, dan alat angkat presisi.

c. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi yang mengandung karbon 0,6 - 1,5%, dibuat dengan cara digiling panas. Pembentukan baja ini dilakukan dengan cara menggerinda permukaannya, misalnya batang bor dan batang datar. Apabila baja ini digunakan untuk bahan produksi maka harus dikerjakan dalam keadaan panas dan digunakan untuk peralatan mesin-mesin berat, batang-batang pengontrol, alat-alat tangan

seperti palu, obeng, tang dan kunci mur, baja pelat, pegas kumparan, dan sejumlah peralatan pertanian.

5. BAJA PADUAN

Baja paduan dihasilkan dengan biaya yang lebih mahal dari baja karbon karena bertambahnya biaya untuk penambahan pengerjaan yang khusus yang dilakukan didalam industri atau pabrik.

Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan, dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki (keras, kuat, dan liat), tetapi unsur karbon tidak dianggap sebagai salah satu unsur campuran. Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran memberikan sifat khas dibandingkan dengan menggunakan satu unsur campuran, misalnya baja yang dicampur dengan unsur kromium dan nikel akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan kenyal (sifat logam ini membuat baja dapat dibentuk dengan cara dipalu, ditempa, digiling, dan ditarik tanpa mengalami patah atau retak-retak). Jika baja dicampur dengan kromium dan molibden, akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan sifat kenyal yang memuaskan serta tahan terhadap panas.

Baja paduan digunakan karena keterbatasan baja karbon sewaktu dibutuhkan sifat-sifat yang spesial daripada baja, keterbatasan daripada baja karbon adalah reaksinya terhadap pengerjaan panas dan kondisinya. Sifat-sifat spesial yang diperoleh dengan pencampuran termasuk sifat-sifat kelistrikan, magnetis, dan koefisien spesifik dari pemuaian panas dan tetap keras pada pemanasan yang berhubungan dengan pemotongan logam.

6. PENGARUH UNSUR CAMPURAN

Pengaruh unsur campuran sukar diketahui secara tepat untuk setiap satu unsur campuran karena pengaruhnya tergantung pada jumlah yang digunakan, jumlah penggunaan dari unsur-unsur lainnya dan kandungan karbon didalam baja.

a. Pengaruh Unsur Campuran terhadap Perlakuan Panas

Baja karbon mempunyai kecepatan pendinginan kritis yang tinggi, maksudnya pendinginan harus secara drastis jika ingin menghasilkan struktur lapisan martensit. Pendinginan yang drastis menyebabkan terjadinya distorsi atau pecah-pecah pada baja, apabila dikurangi kecepatan pendinginan kritis dengan membuat austenit

berubah maka struktur martensit dapat dihasilkan dengan jalan pendinginan minyak dan apabila kecepatan pendinginan kritis tetap dikurangi maka dapat digunakan pendinginan udara.

Pengaruh unsur campuran sewaktu dilakukan pemanasan dan pendinginan adalah sebagai berikut :

1) Pengaruh yang menyeluruh

Pengaruh ini berhubungan dengan kecepatan pendinginan kritis dan pengerasan lapisan dalam baja. Pengaruh ini dapat dihasilkan dengan mengubah kecepatan pendinginan kritis menjadi rendah. Potongan yang tipis akan menjadi struktur yang seragam sewaktu dikeraskan. Kecepatan pendinginan kritis dapat dikurangi dengan mencampurkan unsur-unsur kromium, mangan, dan wolfram kedalam baja.

2) Baja bercampur unsur nikel

Unsur campuran ini membuat temperatur pemanasan menjadi rendah dan membentuk struktur austenit, juga temperatur pengerasan menjadi rendah (baja harus dipanaskan pada temperatur yang cukup tinggi untuk memperoleh struktur austenit selama dilakukan pengerasan). Apabila baja didinginkan secara bebas maka kecepatan pendinginannya tergantung pada temperatur dan temperatur pengerasan, dihasilkan dengan cara mencampurkan unsur nikel yang berpengaruh dalam kecepatan pendinginan yang rendah.

3) Pembentukan unsur karbid dengan penambahan unsur campuran seperti kromium dan molibdenum akan menghasilkan pengerasan bagian dalam dan pengaruh menyeluruh terhadap baja akan berkurang.

b. Pengaruh Unsur Campuran terhadap Sifat-Sifat Baja

Sifat baja sewaktu digunakan tergantung pada besarnya reaksi terhadap perlakuan panas dan pengaruh yang akan diuraikan, yaitu syarat-syarat yang berhubungan langsung dengan kondisi pemakaiannya. Pengaruhnya akan diperoleh sebagai hasil dari pengerjaan panas yang sesuai. Adapun pengaruh unsur-unsur campuran terhadap sifat-sifat baja adalah sebagai berikut :

1) Baja karbon mempunyai kekuatan yang terbatas dan tegangan pada baja yang berpenampang besar harus dikurangi, apabila beratnya penting untuk dipertimbangkan maka perlu digunakan baja dengan kekuatan yang tinggi. Kekuatan baja dapat dinaikan dengan menambahkan unsur campuran seperti nikel dan mangan dalam jumlah yang kecil ke dalam besi dan menguatkannya.

- 2) **Kekenyalan baja** dapat diperoleh dengan menambahkan sedikit nikel yang menyebabkan butiran-butirannya menjadi halus.
- 3) **Ketahanan pemakaian baja** dapat diperoleh dengan menambahkan unsur penstabil karbid, misalnya kromium dan nikel sehingga terjadi penguraian karbid, apabila penambahan unsur campuran tanpa unsur krom dengan kandungan unsur karbon dibawah 0,4% maka akan terjadi peniadaan karbid. Cara lain untuk menghasilkan ketahanan pakai adalah dengan menambahkan nikel atau mangan agar transformasi temperatur rendah, dan akan menyebabkan pembentukan austenit dengan jalan pendinginan. Baja paduan ini dilakukan pengerjaan pengerasan untuk menaikkan kekerasan dan ketahanan pakainya.
- 4) **Kekerasan dan kekuatan baja karbon** akan mulai turun apabila temperturnya mencapai 250⁰C. Ketahanan panas dapat diperoleh dengan menaikkan temperatur transformasi dengan cara menambahkan krom dan wolfram atau dengan merendahkan temperatur transformasi dengan menambahkan nikel yang menghasilkan suatu struktur austenit setelah dilakukan pendinginan. Pertumbuhan butiran berhubungan dengan pemanasan pada temperatur tinggi tetapi dapat diimbangi dengan penambahan unsur nikel. Unsur kromium cenderung menaikkan pertumbuhan butiran dan penambahan nikel akan menyebabkan baja kromium tahan terhadap panas. Baja karbon tidak tahan menerima beban rangkai apabila dipanaskan pada temperatur tinggi, agar dapat memperbaiki ketahanan baja terhadap beban rangkai maka ditambahkan sejumlah kecil molibden.
- 5) **Ketahanan baja terhadap karatan** diperoleh dengan menambahkan unsur krom sampai 12%, sehingga membentuk lapisan tipis berupa oksida pada permukaan baja untuk mengisolasi antara besi dengan unsur-unsur yang menyebabkan karatan. Baja tahan karat yang paling baik terutama pada temperatur tinggi, diperoleh dengan cara menggunakan nikel dan kromium bersama-sama untuk menghasilkan suatu struktur yang berlapis austenit.

BAB VI

PENGELASAN BAJA

Topik ke : VI

Judul topik : Pengelasan Baja

Waktu : 3 jam kuliah

Tujuan :

1. Tujuan Instruksional Umum:
Mahasiswa dapat memahami pengelasan baja.
2. Tujuan Instruksional Khusus:

Setelah mengikuti uraian perkuliahan topik ini, mahasiswa dapat :

- mengetahui jenis proses pengelasan baja.
- menentukan jenis-jenis sambungan baja yang efisien yang dapat digunakan.
- menentukan penggunaan macam-macam las.

Pokok Bahasan :

Menguraikan proses pengelasan baja.

Sub Pokok Bahasan :

- a. Jenis proses pengelasan.
- b. Jenis sambungan.
- c. Macam-macam las.

Pustaka :

1. Hari Amanto, Daryanto, “Ilmu Bahan”, Penerbit Bumi Aksara, Jakarta, 1999.
2. Lawrence H.Van Vlack, “Ilmu dan Teknologi Bahan”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.

BAB VI

PENGELASAN BAJA

Pendahuluan.

Yang dimaksud dengan baja adalah suatu bahan dengan keserbasamaan yang besar yang terutama terdiri atas ferrum (Fe), zat arang (C). Sifat baja bergantung sekali kepada kadar zat arang, semakin bertambah zat arang semakin naik tegangan patah dan renggang.

Baja bangunan dapat dihasilkan dari besi kasar dapur tinggi, menurut proses Thomas atau dari besi tua (schroot) dan besi kasar dalam dapur Martin, dan juga dapat dihasilkan melalui cara vertor Bessemer.

Baja merupakan logam yang sangat berguna dengan berbagai macam kegunaannya, sebagai bahan bangunan baja digunakan pada jembatan, bangunan menara dan lain-lain. Meskipun komposisi material sebagian besar terdiri dari besi namun terdapat juga bagian elemen lain yang mempunyai pengaruh besar terhadap sifat baja, elemen yang paling penting adalah karbon. Penambahan kadar karbon menyebabkan bertambahnya kekuatan dan kekerasan baja, tetapi mengurangi kekenyalan. Spesifikasi standar untuk baja bangunan membatasi kadar karbon 0,15% - 0,30% dari keseluruhan komposisi bahan kimia.

Mangan mempengaruhi sifat baja menyerupai karbon kecuali penambahan kadar mangan menambah kekuatan baja. Dalam baja struktur perbandingan karbon terhadap mangan diatur dengan seksama sehingga menghasilkan kombinasi kekuatan, kekenyalan dan kekerasan baja struktur umumnya mengandung 0,50% - 1,65% mangan.

Fosfor, Sulfur, Silicon, Tembaga, Vanadium, Nickel, Chromium, Colombium, Molybdenum dan Alumunium merupakan elemen-elemen yang harus dibatasi dalam baja struktur.

Proses Pembuatan Baja

Pembuatan baja diawali dari dapur tinggi, bijih besi, kapur dan batu arang dimasukkan dari bagian atas dapur dan besi leleh yang mengalir didasar dari elemen besi dibuat baja.

Oksigen penting dalam proses pembuatan baja, oksigen digunakan untuk mengoksidasi kelebihan elemen-elemen seperti karbon, tetapi harus diawali dengan teliti untuk menghindari terjadinya gelembung-gelembung gas dalam batang baja.

Gelembung gas dapat menyebabkan cacat dalam proses akhir batang baja. Komposisi kimia dari baja menentukan sifat-sifat mekanis baja tetapi juga sangat dipengaruhi oleh cara penggilangan, temperatur akhir dan pendinginan. Baja yang dipakai sebagai bahan bangunan adalah baja paduan rendah khusus tahan karat dan baja yang lebih mudah dilas. Beberapa macam baja dioksidasi untuk membentuk lapisan pelindung yang padat. Lapisan ini mencegah korosi (karat) lebih lanjut. Karena pengecatan tidak diperlukan, baja seperti ini mungkin lebih ekonomis walaupun biaya awalnya lebih mahal dari pada baja karbon biasa.

Pengelasan Baja

Disamping sambungan bagian-bagian dengan paku-paku dan baut-baut, munculah suatu cara bekerja, dimana mempersatukan baja mempunyai sifat yang lain. Mengisikan bahan cair dibangunan baja sekarang dilakukan dengan proses las busur cahaya, dimana satu kutub terbentuk oleh benda kerja, sedangkan batang las sebagai kutub kedua menjadi cair karena panasnya busur itu. Selama pekerjaan las itu diteruskan, maka panas yang memancar dari busur mencair menjadi bahan benda kerja yang baru, yang dinamakan bahan induk, dan mencampurkan diri dengan batang las yang mencair.

Menlas otogen dimana dipakai panas api zat asam gas karbit cara ini biasa kita sebut dengan las karbit, las karbit ini biasa digunakan pada plat-plat tipis atau pipa-pipa dan untuk panjang las yang kecil, dimana pemanasan sekelilingnya yang kuat.

Selain menlas dengan cara otogen (las karbit) maka kita juga dapat menlas dengan cara menlas listrik dimana cara menlas ini kita membutuhkan arus listrik. Pada proses menlas ini, kualitas las yang terbentuk dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut :

- Bahan Induk
- Bentuk-bentuk las
- Pengerjaan Pendahuluan
- Batang-batang las dengan lapisannya
- Cahaya menlas

Watak sambungan las berbeda dengan watak sambungan keling. Pada sambungan keling berbeda dengan sambungan las, pada sambungan las dalam kampuh antara kedua

bagian yang hendak disambung, dibawakan baja cair sedangkan pinggir-pinggir bagian dalam dileburkan. Sesudah baja cair menjadi beku kedua bagian itu menjadi satu.

Dengan cara demikian terdapat sambungan yang jauh lebih kaku daripada sambungan keling atau baut sekerup. Pada las otogen baja itu dilebur oleh panas busur nyala listrik. Oleh karena panas nyala asitilen zat asam (2000° - 2500°) adalah kurang daripada panas busur nyala listrik (3500°), maka pada las otogen kita harus lebih lama memanaskan. Jika sekitar las terlampau lama di dipanaskan maka kurang baik secara ekonomi dan bagi kualitas bahan induk. Las otogen dipergunakan bagi pelat-pelat dengan selubung-selubung yang tipis.

BAB VII

SIFAT MATERIAL KAYU

Topik ke : VII

Judul topik : Sifat Material Kayu

Waktu : 3 jam kuliah

Tujuan :

1. Tujuan Instruksional Umum:

Mahasiswa dapat memahami perilaku, sifat dan jenis kayu.

2. Tujuan Instruksional Khusus:

Setelah mengikuti uraian perkuliahan topik ini, mahasiswa dapat :

- mengetahui sifat-sifat bahan kayu
- menentukan tingkat keawetan dan kekuatan jenis-jenis kayu
- menentukan tegangan izin kayu

Pokok Bahasan :

Menguraikan sifat material kayu.

Sub Pokok Bahasan :

- a. Pengertian bahan bangunan kayu dan pemanfaatannya
- b. Sifat fisik, sifat higroskopis dan sifat mekanik
- c. Tingkat keawetan dan tingkat kekuatan jenis kayu.

Pustaka :

1. Panitia Normalisasi Bagian Konstruksi Kayu, “Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia”, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Dirjen Cipta Karya dan Regional Centre for Research on Human Settlements United Nations, April 1980.
2. Yap, Felix, “Konstruksi Kayu”, Bina Cipta, Juni 1992.
3. YDNI, “Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI-5 PKKI 1961.
4. Soerjanto, B.M.F.X., “Pengantar Perkayuan”, Yayasan Kanisius, 1984.

BAB VII

SIFAT MATERIAL KAYU

Kayu sebagai bahan bangunan sampai saat ini masih banyak digunakan orang. Dari segi manfaatnya bagi kehidupan manusia, kayu dinilai mempunyai beberapa keuntungan antara lain :

- Kayu merupakan sumber kekayaan alam yang tidak akan habis-habisnya, apabila dikelola dengan cara yang baik dan benar. Artinya apabila pohon-pohon ditebang di hutan untuk diambil kayunya, segera tanah hutan harus ditanami kembali, supaya sumber kayu tidak habis. Kayu dapat dikatakan sebagai sumber kekayaan alam yang dapat diperbarui dan diadakan kembali.
- Kayu merupakan bahan mentah yang mudah diproses untuk dijadikan barang lain. Dengan kemajuan teknologi, kayu sebagai bahan mentah dapat diproses menjadi barang lain seperti kertas, bahan sintetik, tekstil, dsb.
- Kayu mempunyai sifat-sifat spesifik.

Sifat-sifat bahan kayu yang harus diperhitungkan dalam perencanaan ialah:

1. Sifat fisik
2. Sifat higroskopis
3. Sifat mekanik.

1. SIFAT FISIK

Berat jenis kayu dipengaruhi oleh kadar lengasnya, karena itu sangat sukar menentukan berat jenis kayu. Adalah lebih mudah menentukan berat jenis kering udara atau kerapatan.

$$\text{Kerapatan (g)} = \frac{\text{berat kering kayu (oven dry)}}{\text{volume}}$$

Kerapatan merupakan salah satu indikator yang terbaik oleh menentukan kekuatan kayu.

Semakin kecil kerapatan, kekuatan kayu semakin kecil pula.

1.1. Pengaruh Temperatur

Pada temperatur biasa, angka muai linier (λ_e) kayu dalam arah sejajar adalah rendah:

$$\lambda_{e //} = 4 \cdot 10^{-6}$$

$$\lambda_{e \perp} = 56 \cdot 10^{-6}$$

Angka muai linier akibat temperatur, jauh lebih kecil dari akibat pengaruh perubahan kadar lengas, sehingga akibat perubahan temperatur dapat diabaikan.

Daya hantar panas (k) adalah:

banyaknya panas dalam kilogram kalori (kg. cal.) yang diteruskan pada tiap-tiap satuan luas dalam 1 satuan waktu pada perubahan temperatur 1°C pada jarak 1 satuan panjang. Notasi \rightarrow kg. cal.

$$\text{m} \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}$$

k untuk kayu :// serat = 0,10 kg . cal / m . jam . °C

\perp serat = 0,03 kg . cal / m . jam . °C

1.2. Sifat Listrik

Kayu merupakan bahan hantar yang jelek untuk aliran listrik sehingga merupakan bahan sekat yang baik.

Daya hantar ini tidak tergantung pada jenis atau angka kerapatan, tapi dipengaruhi oleh lengas kayu.

Semakin tinggi kadar lengas, semakin besar daya hantarnya.

2. SIFAT HIGROSCOPIS

2.1. Kadar Lengas

Kayu tidak peka terhadap derajat panas tapi sangat peka terhadap kelembaban udara. Perubahan kadar lengas kayu menyebabkan mengembang dan menyusutnya kayu.

Kadar lengas kayu:

$$x = \frac{1,15 \cdot G_x - G_{ku}}{G_{ku}} \times 100\%$$

dimana : G_x = berat kayu mula-mula

G_{ku} = berat kayu kering udara

Di dalam sel-sel kayu terdapat air, terutama:

- air bebas (free water),
yaitu air yang mengisi ruangan sel.
- air ikat (imbided water),

yaitu air yang menembus dinding sel dan ditahan oleh pori-pori dinding sel. Apabila kayu dikeringkan maka air bebas akan keluar lebih dahulu, kemudian air ikat akan meninggalkan dinding-dinding sel bila kayu terus dikeringkan. Pada saat air bebas habis, keadaan itu disebut titik jenuh serat atau fibre saturation point.

Kadar lengas pada keadaan itu $\pm 12\%-18\%$, rata-rata 15%, ini tergantung dari jenis kayu.

Bila kayu dikeringkan di bawah titik jenuh seratnya, dinding sel makin padat sehingga serat-serat menjadi kokoh dan kuat.

Jadi, turunnya kadar lengas kayu mengakibatkan bertambahnya kekuatan kayu.

Kadar lengas yang cocok untuk macam-macam konstruksi:

Konstruksi	Kadar air
jembatan pagar	18%
kuda-kuda	16%
perkakas rumah tangga	12%

2.2. Kembang Susut

Kayu akan mengembang bila kadar lengasnya bertambah dan menyusut bila kadar lengasnya berkurang untuk suhu yang konstan.

Besarnya kembang susut tidak sama dalam berbagai arah. Arahnya dapat dibedakan atas 3 macam arah:

1. Arah radial → arah menuju ke pusat
2. Arah tangensial → searah dengan garis singgung/ \perp serat
3. Arah aksial → sejajar dengan arah panjang/ serat batangnya.

Rata-rata besarnya kembang susut untuk:

- tangensial : 4% - 14%
- radial : 2% - 8%
- axial : 0,1 - 0,2%
- volumetrik : 7% - 21%

3. SIFAT MEKANIK

3.1. Hubungan Arah Serat dan Arah Gaya

a. Kayu lebih kuat mendukung gaya tarik sejajar arah serat daripada \perp arah serat.

$$\sigma_{tr //} > \sigma_{tr \perp}$$

b. Menurut arah serat, kayu lebih kuat mendukung tarikan daripada tekanan.

$$\sigma_{tr //} > \sigma_{tk //} ; \sigma_{tr //} = 2 \text{ sampai dengan } 2,5 \sigma_{tk //}$$

c. Kayu lebih kuat mendukung gaya tekan sejajar serat daripada \perp arah serat.

$$\sigma_{tk //} > \sigma_{tk \perp}$$
$$\sigma_{tk //} = 1,2 \sigma_{tk \perp}$$

d. Kayu lebih kuat mendukung gaya geser \perp arah serat daripada menurut arah serat.

$$\tau_{\perp} > \tau_{//}$$

Karena τ_{\perp} besar maka jarang terjadi kayu patah akibat gaya geser.

3.2. Pengaruh Cara dan Lamanya Pembebanan

Kayu dapat dibebani beberapa cara:

1. Pembebanan dengan sekoyong-sekoyong.

Pembebanan ini hanya terjadi dalam beberapa detik saja atau disebut pembebanan kejut.

Contoh: tiang tumbuk (pancang), bantalan jalang kereta api.

2. Pembebanan dalam jangka pendek.

Pembebanan ini dilakukan dalam beberapa menit. Contoh: pengujian kekuatan kayu di laboratorium (4 atau 5 menit tiap benda uji).

3. Pembebanan dalam jangka sedang.

Kayu dibebani selama setahun atau lebih.

Contoh: pada pekerjaan perancah.

4. Pembebanan dalam jangka panjang.

Kayu dibebani dalam jangka waktu yang lama, lebih dari 10 tahun.

Contoh: dalam bangunan-bangunan konstruksi kayu (kap kayu, jembatan).

Sifat-sifat khusus dari kayu :

Semakin cepat kayu dibebani (waktu pembebanan makin pendek) makin besar tegangan dapat didukung.

Jadi kayu dapat mendukung tegangan yang lebih besar pada waktu pembebanan 1 jam daripada 1 tahun.

Karena itu kayu merupakan bahan yang baik untuk mendukung tegangan-tegangan yang timbul dalam jangka waktu yang pendek.

3.3. Pengaruh Penyimpangan Arah Serat

Penyimpangan arah serat terhadap alas sebagai balok (b/a) tidak boleh lebih dari $1/20$.

$$\Rightarrow \frac{b}{a} < \frac{1}{20}$$

Bila nilai $b/a > 1/20$, maka kekuatan kayu berkurang (untuk mendukung beban lentur maupun beban tekan).

Di Amerika, penyimpangan arah serat ditetapkan sebagai berikut:

b/a	$\sigma_{tk} \text{ max (\%)}$	$\sigma_{lt} \text{ max (\%)}$
1 : 8	66	53
1 : 10	74	61
1 : 12	82	69
1 : 14	87	74
1 : 15	100	76
1 : 16	100	80
1 : 18	100	85
1 : 20	100	100

3.4. Arah Gaya dan Arah Serat

Bila arah gaya membentuk sudut α dengan arah serat kayu, maka tegangan yang diperkenalkan:

$$\sigma_{tk \alpha} = \sigma_{tk //} - (\sigma_{tk //} - \sigma_{tk \perp}) \sin^2 \alpha$$

dimana: σ = tegangan kayu yang diizinkan

tk = tekan

α = sudut antara arah gaya dengan serat kayu

3.5. Pengaruh Mata Kayu

Pengaruh mata kayu tergantung pada letak dan tempatnya mata kayu.

Untuk balok yang menahan momen:

1. Bila mata kayu terletak pada daerah tarik, banyak mengurangi kekuatan kayu bahkan lebih besar bila membuang lubang sebesar mata kayu sebab di samping mata kayu, arah serat di sekitar tempat itu tidak lagi lurus melainkan membengkok, berarti arah seratnya menyimpang.
2. Bila terletak di daerah tekan, pengaruhnya tidak begitu besar.
3. Bila terletak di daerah netral, pengaruhnya semakin kecil.
 - Untuk menahan batang tekan/kolom, pengaruhnya tergantung daripada panjang batang. Semakin langsing batang, semakin kecil pengaruh mata kayu.
 - Untuk batang tarik. Mata kayu mempunyai pengaruh yang besar terhadap kekuatan kayu yaitu mengurangi kekuatan kayu sehingga perlu berhati-hati untuk memilih batang kayu yang dibebani gaya tarik.
 - Untuk tegangan geser searah serat, pengaruh mata kayu sangat kecil.

4. SIFAT-SIFAT KAYU YANG DI AWETKAN

Oleh karena tujuan utama dari pengawetan kayu ialah memperbesar daya tahan normal terhadap pembusukan, rayap, cacing laut, dan organisme perusak lainnya, sudah selayaknya bahwa kepentingan terbesar harus dikaitkan dengan keawetan kayu dan penghematan yang diakibatkan dalam penggunaannya.

Tetapi , seringkali juga penting meninjau efek dari pemasukan minyak dan garam-garam yang larut-air terhadap sifat-sifat lain dari kayu itu. Oleh karena penggunaan kayu yang diawetkan itu telah meluas kebidang-bidang yang lebih beraneka ragam, perhatian yang lebih besar telah diberikan untuk menentukan efek-efek ini dan pada cara dan alat untuk mencegah atau mengatasi pengaruh merusak terhadap kekuatan alami kayu, mudahnya terbakar, sifat-sifat pengecatannya, kebersihannya, beratnya, atau daya hantar listrik dari kayu itu, dan meniadakan sifat-sifat lain yang tidak menyenangkan yang mungkin ditimbulkan oleh bahan pengawet pada kayu.

Kekuatan kayu.

Kayu yang diawetkan dalam pemakaiannya harus menopang beban besar. Penting diperhatikan bahwa baik bahan pengawet ataupun metode persiapan dan pengawetan kayu tidak mengurangi kapasitas menyangga beban kayu dibawah batas yang dapat diterima. Banyak penyelidikan telah dilakukan untuk menetapkan efek-efek dari bahan pengawet standar, perlakuan persiapan, dan proses-proses tekanan terhadap kekuatan kayu.

Terlalu sering pengujian itu membuktikan kekurangannya dan hasil-hasilnya tidak dapat disimpulkan, tetapi umumnya pengujian-pengujian ini telah menunjukkan bahwa setiap kelemahan yang dihasilkan dari kayu lebih disebabkan oleh suhu-suhu dan tekanan-tekanan yang diderita kayu selama periode persiapan atau impregnasi daripada oleh bahan pengawet yang digunakan. Beberapa kreosot dan campuran-campuran kreosot (dengan ter batu bara atau petroleum) praktis tidak berpengaruh terhadap kayu, dan masuk kedalam kayu tanpa mengadakan reaksi kimiawi yang dapat mempengaruhi kekuatan kayu. Klorida seng, dalam konsentrasi yang digunakan sebagai bahan pengawet komersial dan penghambat api, sebenarnya juga tidak aktif meskipun bahan tersebut dapat menjadikan kayu agak rapuh terhadap benturan. Tetapi dalam konsentrasi yang tinggi, bahan pengawet yang mengandung banyak garam ini dapat sangat melemahkan kayu, dan bahkan retensi yang sedang ternyata dapat merugikan apabila kayu yang diawetkan itu dalam waktu yang cukup lama mengalami kelembaban udara yang rendah dan suhu yang tinggi. Maka, bantalan-bantalan kereta-api yang diawetkan dengan klorida seng yang dipasang didaerah kering ternyata mengalami retak-retak dan pecah-pecah lebih banyak daripada bantalan yang tidak diawetkan atau yang diawetkan dengan minyak, yang rupa-rupanya disebabkan karena larutan garam itu didalam kayu menjadi sangat tinggi konsentrasinya karena pengaruh panas dan kekeringan. Bahan-bahan pengawet larut-air lainnya yang umum digunakan ternyata tidak terlalu mengurangi kekuatan kayu.

Pengaruh Perlakuan

Meskipun bahan pengawet standar biasanya dianggap tidak merugikan, tetapi kondisi selama kayu itu diawetkan mungkin begitu berat dan berlangsung begitu lama sehingga menyebabkan penurunan yang besar dalam kekuatan kayu itu.

Metode pengukusan dan penghampaan dalam mempersiapkan kayu untuk pengawetan dapat mempunyai efek melemahkan yang nyata, apabila suhu-suhu tidak diberikan secara hati-hati disesuaikan dengan jenis kayu yang diawetkan, dan periode pengukusan dilakukan sependek mungkin.

Selama bertahun-tahun, praktek standar dalam pengukusan pancang-pancang southern pine ialah menggunakan suhu maksimum 259⁰F (kira-kira 20 psi). Karena adanya bukti bahwa ini nyata-nyata melemahkan kayu, maka suhu pengukusan yang diizinkan untuk spesies ini diturunkan menjadi 245⁰F (12¹/₂ psi). Untuk beberapa spesies dan bentuk-bentuk kayu lainnya tidak boleh diadakan pengukusan, sedang yang lain dibatasi sampai suhu maksimum 240⁰F (kira-kira 10 psi) untuk waktu yang terbatas. Pembatasan suhu dan waktu spesifik diberikan untuk berbagai produk, dalam standar-standar C2-66, C5-66, dan C6-63 dari American Wood Preservers' Assosiation.

Dalam kondisi yang normal, proses perebusan dibawah hampa (Boulton) tidak begitu melemahkan kayu dari pada metode pengukusan dan penghampaan, tetapi proses yang lebih lemah ini pun dapat merugikan apabila pemanasannya berlangsung lama. Bahkan apabila langkah persiapan ini ditiadakan pun, kekuatan kayu dapat dirusak selama periode impregnasi yang sebenarnya, jika suhu dan tekanan yang diberikan kepada kayu itu tidak dikendalikan dengan baik.

Pemanasan kayu pada suhu tinggi atau untuk waktu yang lama telah ditunjukkan oleh McLean dapat menyebabkan kehilangan berat yang nyata (dan sudah pasti juga kekuatannya); apabila pemanasan ini terlalu lama, kayu akan menjadi arang dan mudah remuk. Pada suatu suhu tertentu, kehilangan ini akan lebih cepat bila kayu dipanaskan dalam air dari pada dalam uap (kukus), dan yang paling lambat dalam udara. Pengukusan kayu pada 250⁰F dalam waktu tidak lebih daripada 20 jam menyebabkan hilangnya berat kira-kira 3 sampai 5 persen bagi kebanyakan spesies yang diteliti. Pada 275⁰F hilangnya berat kira-kira 5 sampai 10 persen, sedang pada suhu-suhu yang lebih tinggi persentase ini akan jauh lebih besar.

Dalam metode pengukusan dan penghampaan, besarnya kelemahan yang ditimbulkan pada kayu bukan saja dipengaruhi oleh suhu dan lamanya periode pengukusan, melainkan juga oleh spesies, ukuran dan kondisi kayunya. Dari pengujian kekuatan dari kayu yang diperlakukan dengan metode ini diperoleh hasil yang bermacam-macam, tetapi telah ditunjukkan bahwa pengukusan pada suhu tinggi dalam waktu yang lama nyata-nyata menurunkan kekuatan kayu, dalam kasus-kasus yang ekstrim, kehilangan dalam kekuatan lenturnya dapat setinggi 35 persen, dan penurunan pada sifat-sifat

kekuatan lainnya yang kadang-kadang melebihi 50 persen. Kayu-kayu yang besar dilemahkan relatif lebih banyak daripada kayu-kayu kecil, kemungkinan disebabkan karena pada kayu-kayu yang berukuran besar akan terjadi gaya-gaya internal yang lebih hebat. Demikian pula, kayu teras akan lebih peka terhadap kerusakan dari pada kayu gubal. Dengan alasan yang terakhir ini, kayu-kayu kecil seperti pancang dan tiang-tiang, terutama yang mempunyai kayu gubal yang tebal dalam suatu perlakuan tertentu kurang banyak menderita dari pada tongkat-tongkat gergajian yang mempunyai permukaan-permukaan kayu teras yang terbuka.

Koehler telah membuktikan bahwa pemanasan kayu-kayu segar dalam uap akan menimbulkan gaya-gaya besar yang disebabkan oleh tendensi kayu untuk mengembang ke arah tangensial dan menyusut dan menyusut ke arah radial dibawah kondisi semacam itu. Gaya-gaya ini intensitasnya dapat cukup besar untuk menyebabkan retak-retak radial melewati pusat dan menimbulkan pembentukan retak-retak cincin atau “retak-retak ledakan” didekat permukaan kayu-kayu bulat selama periode tekanan dari siklus pengawetan. Hidrolisis lemah, yang dipacu oleh asam-asam alami dalam kayu mungkin merupakan suatu faktor dalam melemahkan kayu oleh pengukusan. Terutama selulosa yang mudah mengalami hidrolisis, secara berangsur-angsur mengalami dekomposisi (terurai) ke dalam berbagai hasil degradasi dengan berat molekul yang lebih kecil. Berbagai jenis kayu sangat berbeda-beda dalam keasaman alaminya, dan ini dapat berpengaruh langsung pada kepekaannya terhadap kerusakan oleh pengukusan atau bentuk lain dari pemanasan.

Selain itu ada kehilangan kekuatan yang nyata tetapi tidak merupakan kerusakan yang terlihat. Maka kayu yang tidak menunjukkan tanda-tanda cacat segera setelah selesai pengukusan dan penghampaan, dapat menunjukkan retak-retak yang berat dan *collapse*. Setelah periode tekanan bahan pengawet; ini menunjukkan bahwa paling tidak sudah terdapat kelemahan-kelemahan sewaktu dikukus. Demikian pula, kayu dapat nampak tetap sehat setelah mengalami segala tingkat perlakuan, meskipun sebenarnya kekuatannya telah cukup menurun.

Menurut Maclean, percobaan-percobaan dengan berbagai kayu berdaun jarum menunjukkan bahwa selama impregnasi yang sebenarnya dari bahan pengawet, akan lebih sedikit terdapat retak-retak dan *collapse* bila yang dikukus itu kayu segar dari pada kayu yang telah dikeringkan sebelumnya. Tetapi, oaks dan kayu-kayu tertentu lainnya biasanya sangat hebat retaknya, meskipun kayu itu mempunyai kandungan air yang tinggi sewaktu dikukus. Penurunan kekuatan yang terbesar terdapat bila kayu itu diuji

segera setelah dikukus, karena sebagian dari kehilangan kekuatan ini diimbangi dengan tambahnya kekuatan sewaktu kayu melepas air pada saat dikeringkan lagi. Tetapi, efek perlakuan terhadap setiap sifat kekuatan sangat berbeda-beda pada setiap batang kayu sehingga tidak mungkin untuk memperkirakan perubahan kekuatan akhir yang sebenarnya.

Dapat diduga bahwa setiap kondisi pengukusan yang cukup untuk menimbulkan efek yang menguntungkan terhadap peresapan dan absorpsi bahan pengawet, akan menyebabkan berkurangnya kekuatan kayu. Tetapi pada umumnya dianggap bahwa efek pengukusan yang tidak melebihi 245⁰F untuk waktu 8 sampai 12 jam dapat diabaikan bagi pancang-pancang, tiang-tiang, dan kayu-kayu bangunan besar dari southern pine yang tidak disyaratkan untuk memiliki kekuatan yang setinggi-tingginya. Sebaliknya, bila kayu-kayu itu ditempatkan dalam suatu struktur yang tidak dapat membiarkan adanya kelemahan-kelemahan akibat pengawetan, maka kondisi-kondisi pengawetan yang berat harus dihindari.

Sejumlah pengujian kekuatan telah dilakukan pada kayu-kayu Douglas-fir untuk menetapkan pengaruh dari perlakuan perebusan dibawah hampa. Pada umumnya ditemukan bahwa pengurangan kekuatan lentur yang diakibatkan oleh metode persiapan ini dan impregnasi kreosot berikutnya, bervariasi dari 6 sampai 18 persen. Derajat pelemahan ini agaknya ada hubungannya dengan lama periode pemanasan. Oleh karena dalam proses ini kayu hanya dikenai suhu-suhu yang relatif rendah, maka hilangnya kekuatan juga jauh lebih sedikit dari pada Douglas-fir yang dikukus pada suhu-suhu tinggi. Pengujian ini menunjukkan keuntungan untuk mempertahankan kondisi pengawetan selengkap mungkin tetapi dapat menjamin absorpsi dan peresapan yang cukup dari kreosot.

Dalam impregnasi kayu yang sebenarnya dengan kreosot (yaitu periode penekanan bahan pengawet), faktor-faktor yang penting untuk diperhatikan ialah intensitas tekanan yang digunakan, suhu bahan pengawet, dan lamanya periode tekanan. Dari tiga faktor ini, tekanan merupakan yang paling penting untuk menghindari kerusakan. Suhu bahan pengawet mempunyai pengaruh yang nyata pada peresapan dan absorpsi yang diperoleh, dan apabila mungkin adalah baik untuk mempertahankannya pada tingkat yang relatif tinggi. Oleh karena itu apabila suatu kombinasi tekanan dan suhu mungkin menyebabkan kayu itu retak atau *collapse*, dianjurkan untuk lebih menurunkan tekanannya dari pada suhu, dan bila perlu memperpanjang periode impregnasi.

Pengaruh yang pasti dari setiap kombinasi tekanan bahan pengawet dan suhu, selanjutnya tergantung pada faktor-faktor seperti spesies, sifat dan perlakuan sebelumnya dari kayu itu, dan tipe bahan pengawet yang digunakan. Kayu-kayu dengan kerapatan rendah lebih mudah menderita karena tekanan yang tinggi dibandingkan dengan kayu dengan kerapatan tinggi. Tekanan-tekanan yang sangat tinggi hanya dapat digunakan dengan aman pada kayu-kayu yang dipanasi dalam jangka waktu pendek dari pada kayu yang melunak oleh pemanasan pendahuluan yang lama. Di bawah kondisi-kondisi pengawetan yang sama kayu yang diimpregnasi dengan garam-garam yang larut-air menunjukkan tendensi yang lebih besar untuk *collapse* dari pada kayu yang sama yang diawetkan dengan minyak-minyak pengawet, mungkin disebabkan oleh larutan-larutan air yang cenderung untuk lebih melunakkan kayu dari pada minyak-minyak.

BAB VIII

PROSES PENGAWETAN KAYU

Topik ke : VIII

Judul topik : Proses Pengawetan Kayu

Waktu : 3 jam kuliah

Tujuan :

1. Tujuan Instruksional Umum:

Mahasiswa dapat memahami proses pengawetan kayu.

2. Tujuan Instruksional Khusus:

Setelah mengikuti uraian perkuliahan topik ini, mahasiswa dapat :

- mengetahui proses pengawetan kayu.
- Mengetahui sifat-sifat kayu yang diawetkan
- Menggunakan beberapa cara perlindungan terhadap material kayu

Pokok Bahasan :

Menguraikan proses-proses pengawetan kayu.

Sub Pokok Bahasan :

- a. Sifat kayu yang diawetkan
- b. Proses pengawetan kayu.
- c. Metoda melindungi kayu selain cara pengawetan standar.

Pustaka :

1. Panitia Normalisasi Bagian Konstruksi Kayu, “Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia”, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Dirjen Cipta Karya dan Regional Centre for Research on Human Settlements United Nations, April 1980.
2. Yap, Felix, “Konstruksi Kayu”, Bina Cipta, Juni 1992.
3. YDNI, “Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia NI-5 PKKI 1961.
4. Soerjanto, B.M.F.X., “Pengantar Perkayuan”, Yayasan Kanisius, 1984.
5. Hunt, G.M, Garratt, G.A., “Pengawetan Kayu”, Akademika Pressindo, Jakarta, 1986.

BAB VIII

PROSES PENGAWETAN KAYU

SIFAT-SIFAT KAYU YANG DI AWETKAN

Oleh karena tujuan utama dari pengawetan kayu ialah memperbesar daya tahan normal terhadap pembusukan, rayap, cacing laut, dan organisme perusak lainnya, sudah selayaknya bahwa kepentingan terbesar harus dikaitkan dengan keawetan kayu dan penghematan yang diakibatkan dalam penggunaannya.

Tetapi , seringkali juga penting meninjau efek dari pemasukan minyak dan garam-garam yang larut-air terhadap sifat-sifat lain dari kayu itu. Oleh karena penggunaan kayu yang diawetkan itu telah meluas kebidang-bidang yang lebih beraneka ragam, perhatian yang lebih besar telah diberikan untuk menentukan efek-efek ini dan pada cara dan alat untuk mencegah atau mengatasi pengaruh merusak terhadap kekuatan alami kayu, mudahnya terbakar, sifat-sifat pengecatannya, kebersihannya, beratnya, atau daya hantar listrik dari kayu itu, dan meniadakan sifat-sifat lain yang tidak menyenangkan yang mungkin ditimbulkan oleh bahan pengawet pada kayu.

Kekuatan kayu

Kayu yang diawetkan dalam pemakaiannya harus menopang beban besar. Penting diperhatikan bahwa baik bahan pengawet ataupun metode persiapan dan pengawetan kayu tidak mengurangi kapasitas menyangga beban kayu dibawah batas yang dapat diterima. Banyak penyelidikan telah dilakukan untuk menetapkan efek-efek dari bahan pengawet standar, perlakuan persiapan, dan proses-proses tekanan terhadap kekuatan kayu.

Terlalu sering pengujian itu membuktikan kekurangannya dan hasil-hasilnya tidak dapat disimpulkan, tetapi umumnya pengujian-pengujian ini telah menunjukkan bahwa setiap kelemahan yang dihasilkan dari kayu lebih disebabkan oleh suhu-suhu dan tekanan-tekanan yang diderita kayu selama periode persiapan atau impregnasi daripada oleh bahan pengawet yang digunakan. Beberapa kreosot dan campuran-campuran kreosot (dengan ter batu bara atau petroleum) praktis tidak berpengaruh terhadap kayu, dan masuk kedalam kayu tanpa mengadakan rekasi kimiawi yang dapat mempengaruhi kekuatan kayu. Klorida seng, dalam konsentrasi yang digunakan sebagai bahan pengawet komersial dan penghambat api, sebenarnya juga tidak aktif meskipun bahan tersebut dapat menjadikan kayu agak rapuh terhadap benturan. Tetapi dalam

konsentrasi yang tinggi, bahan pengawet yang mengandung banyak garam ini dapat sangat melemahkan kayu, dan bahkan retensi yang sedang ternyata dapat merugikan apabila kayu yang diawetkan itu dalam waktu yang cukup lama mengalami kelembaban udara yang rendah dan suhu yang tinggi. Maka, bantalan-bantalan kereta-api yang diawetkan dengan klorida seng yang dipasang didaerah kering ternyata mengalami retak-retak dan pecah-pecah lebih banyak daripada bantalan yang tidak diawetkan atau yang diawetkan dengan minyak, yang rupa-rupanya disebabkan karena larutan garam itu didalam kayu menjadi sangat tinggi konsentrasinya karena pengaruh panas dan kekeringan. Bahan-bahan pengawet larut-air lainnya yang umum digunakan ternyata tidak terlalu mengurangi kekuatan kayu.

Pengaruh Perlakuan

Meskipun bahan pengawet standar biasanya dianggap tidak merugikan, tetapi kondisi selama kayu itu diawetkan mungkin begitu berat dan berlangsung begitu lama sehingga menyebabkan penurunan yang besar dalam kekuatan kayu itu.

Metode pengukusan dan penghampaan dalam mempersiapkan kayu untuk pengawetan dapat mempunyai efek melemahkan yang nyata, apabila suhu-suhu tidak diberikan secara hati-hati disesuaikan dengan jenis kayu yang diawetkan, dan periode pengukusan dilakukan sependek mungkin.

Selama bertahun-tahun, praktek standar dalam pengukusan pancang-pancang southern pine ialah menggunakan suhu maksimum 259⁰F (kira-kira 20 psi). Karena adanya bukti bahwa ini nyata-nyata melemahkan kayu, maka suhu pengukusan yang diizinkan untuk spesies ini diturunkan menjadi 245⁰F (12¹/₂ psi). Untuk beberapa spesies dan bentuk-bentuk kayu lainnya tidak boleh diadakan pengukusan, sedang yang lain dibatasi sampai suhu maksimum 240⁰F (kira-kira 10 psi) untuk waktu yang terbatas. Pembatasan suhu dan waktu spesifik diberikan untuk berbagai produk, dalam standar-standar C2-66, C5-66, dan C6-63 dari American Wood Preservers' Assosiation.

Dalam kondisi yang normal, proses perebusan dibawah hampa (Boulton) tidak begitu melemahkan kayu dari pada metode pengukusan dan penghampaan, tetapi proses yang lebih lemah ini pun dapat merugikan apabila pemanasannya berlangsung lama. Bahkan apabila langkah persiapan ini ditiadakan pun, kekuatan kayu dapat dirusak selama periode impregnasi yang sebenarnya, jika suhu dan tekanan yang diberikan kepada kayu itu tidak dikendalikan dengan baik.

Pemanasan kayu pada suhu tinggi atau untuk waktu yang lama telah ditunjukkan oleh McLean dapat menyebabkan kehilangan berat yang nyata (dan sudah pasti juga kekuatannya); apabila pemanasan ini terlalu lama, kayu akan menjadi arang dan mudah remuk. Pada suatu suhu tertentu, kehilangan ini akan lebih cepat bila kayu dipanaskan dalam air dari pada dalam uap (kukus), dan yang paling lambat dalam udara. Pengukusan kayu pada 250⁰F dalam waktu tidak lebih daripada 20 jam menyebabkan hilangnya berat kira-kira 3 sampai 5 persen bagi kebanyakan spesies yang diteliti. Pada 275⁰F hilangnya berat kira-kira 5 sampai 10 persen, sedang pada suhu-suhu yang lebih tinggi persentase ini akan jauh lebih besar.

Dalam metode pengukusan dan penghampaan, besarnya kelemahan yang ditimbulkan pada kayu bukan saja dipengaruhi oleh suhu dan lamanya periode pengukusan, melainkan juga oleh spesies, ukuran dan kondisi kayunya. Dari pengujian kekuatan dari kayu yang diperlakukan dengan metode ini diperoleh hasil yang bermacam-macam, tetapi telah ditunjukkan bahwa pengukusan pada suhu tinggi dalam waktu yang lama nyata-nyata menurunkan kekuatan kayu, dalam kasus-kasus yang ekstrim, kehilangan dalam kekuatan lenturnya dapat setinggi 35 persen, dan penurunan pada sifat-sifat kekuatan lainnya yang kadang-kadang melebihi 50 persen. Kayu-kayu yang besar dilemahkan relatif lebih banyak daripada kayu-kayu kecil, kemungkinan disebabkan karena pada kayu-kayu yang berukuran besar akan terjadi gaya-gaya internal yang lebih hebat. Demikian pula, kayu teras akan lebih peka terhadap kerusakan dari pada kayu gubal. Dengan alasan yang terakhir ini, kayu-kayu kecil seperti pancang dan tiang-tiang, terutama yang mempunyai kayu gubal yang tebal dalam suatu perlakuan tertentu kurang banyak menderita dari pada tongkat-tongkat gergajian yang mempunyai permukaan-permukaan kayu teras yang terbuka.

Koehler telah membuktikan bahwa pemanasan kayu-kayu segar dalam uap akan menimbulkan gaya-gaya besar yang disebabkan oleh tendensi kayu untuk mengembang ke arah tangensial dan menyusut dan menyusut ke arah radial dibawah kondisi semacam itu. Gaya-gaya ini intensitasnya dapat cukup besar untuk menyebabkan retak-retak radial melewati pusat dan menimbulkan pembentukan retak-retak cincin atau “retak-retak ledakan” didekat permukaan kayu-kayu bulat selama periode tekanan dari siklus pengawetan. Hidrolisis lemah, yang dipacu oleh asam-asam alami dalam kayu mungkin merupakan suatu faktor dalam melemahkan kayu oleh pengukusan. Terutama selulosa yang mudah mengalami hidrolisis, secara berangsur-angsur mengalami dekomposisi (terurai) ke dalam berbagai hasil degradasi dengan

berat molekul yang lebih kecil. Berbagai jenis kayu sangat berbeda-beda dalam keasaman alaminya, dan ini dapat berpengaruh langsung pada kepekaannya terhadap kerusakan oleh pengukusan atau bentuk lain dari pemanasan.

Selain itu ada kehilangan kekuatan yang nyata tetapi tidak merupakan kerusakan yang terlihat. Maka kayu yang tidak menunjukkan tanda-tanda cacat segera setelah selesai pengukusan dan penghampaan, dapat menunjukkan retak-retak yang berat dan *collapse*. Setelah periode tekanan bahan pengawet; ini menunjukkan bahwa paling tidak sudah terdapat kelemahan-kelemahan sewaktu dikukus. Demikian pula, kayu dapat nampak tetap sehat setelah mengalami segala tingkat perlakuan, meskipun sebenarnya kekuatannya telah cukup menurun.

Menurut Maclean, percobaan-percobaan dengan berbagai kayu berdaun jarum menunjukkan bahwa selama impregnasi yang sebenarnya dari bahan pengawet, akan lebih sedikit terdapat retak-retak dan collapse bila yang dikukus itu kayu segar dari pada kayu yang telah dikeringkan sebelumnya. Tetapi, oaks dan kayu-kayu tertentu lainnya biasanya sangat hebat retaknya, meskipun kayu itu mempunyai kandungan air yang tinggi sewaktu dikukus. Penurunan kekuatan yang terbesar terdapat bila kayu itu diuji segera setelah dikukus, karena sebagian dari kehilangan kekuatan ini diimbangi dengan tambahnya kekuatan sewaktu kayu melepas air pada saat dikeringkan lagi. Tetapi, efek perlakuan terhadap setiap sifat kekuatan sangat berbeda-beda pada setiap batang kayu sehingga tidak mungkin untuk memperkirakan perubahan kekuatan akhir yang sebenarnya.

Dapat diduga bahwa setiap kondisi pengukusan yang cukup untuk menimbulkan efek yang menguntungkan terhadap peresapan dan absorpsi bahan pengawet, akan menyebabkan berkurangnya kekuatan kayu. Tetapi pada umumnya dianggap bahwa efek pengukusan yang tidak melebihi 245⁰F untuk waktu 8 sampai 12 jam dapat diabaikan bagi pancang-pancang, tiang-tiang, dan kayu-kayu bangunan besar dari southern pine yang tidak disyaratkan untuk memiliki kekuatan yang setinggi-tingginya. Sebaliknya, bila kayu-kayu itu ditempatkan dalam suatu struktur yang tidak dapat membiarkan adanya kelemahan-kelemahan akibat pengawetan, maka kondisi-kondisi pengawetan yang berat harus dihindari.

Sejumlah pengujian kekuatan telah dilakukan pada kayu-kayu Douglas-fir untuk menetapkan pengaruh dari perlakuan perebusan dibawah hampa. Pada umumnya ditemukan bahwa pengurangan kekuatan lentur yang diakibatkan oleh metode persiapan ini dan impregnasi kreosot berikutnya, bervariasi dari 6 sampai 18 persen.

Derajat pelemahan ini agaknya ada hubungannya dengan lama periode pemanasan. Oleh karena dalam proses ini kayu hanya dikenai suhu-suhu yang relatif rendah, maka hilangnya kekuatan juga jauh lebih sedikit dari pada Douglas-fir yang dikukus pada suhu-suhu tinggi. Pengujian ini menunjukkan keuntungan untuk mempertahankan kondisi pengawetan selengkap mungkin tetapi dapat menjamin absorpsi dan peresapan yang cukup dari kreosot.

Dalam impregnasi kayu yang sebenarnya dengan kreosot (yaitu periode penekanan bahan pengawet), faktor-faktor yang penting untuk diperhatikan ialah intensitas tekanan yang digunakan, suhu bahan pengawet, dan lamanya periode tekanan. Dari tiga faktor ini, tekanan merupakan yang paling penting untuk menghindari kerusakan. Suhu bahan pengawet mempunyai pengaruh yang nyata pada peresapan dan absorpsi yang diperoleh, dan apabila mungkin adalah baik untuk mempertahankannya pada tingkat yang relatif tinggi. Oleh karena itu apabila suatu kombinasi tekanan dan suhu mungkin menyebabkan kayu itu retak atau *collapse*, dianjurkan untuk lebih menurunkan tekanannya dari pada suhu, dan bila perlu memperpanjang periode impregnasi.

Pengaruh yang pasti dari setiap kombinasi tekanan bahan pengawet dan suhu, selanjutnya tergantung pada faktor-faktor seperti spesies, sifat dan perlakuan sebelumnya dari kayu itu, dan tipe bahan pengawet yang digunakan. Kayu-kayu dengan kerapatan rendah lebih mudah menderita karena tekanan yang tinggi dibandingkan dengan kayu dengan kerapatan tinggi. Tekanan-tekanan yang sangat tinggi hanya dapat digunakan dengan aman pada kayu-kayu yang dipanasi dalam jangka waktu pendek dari pada kayu yang melunak oleh pemanasan pendahuluan yang lama. Di bawah kondisi-kondisi pengawetan yang sama kayu yang diimpregnasi dengan garam-garam yang larut-air menunjukkan tendensi yang lebih besar untuk *collapse* dari pada kayu yang sama yang diawetkan dengan minyak-minyak pengawet, mungkin disebabkan oleh larutan-larutan air yang cenderung untuk lebih melunakkan kayu dari pada minyak-minyak.

Untuk keperluan bangunan di Indonesia, kayu dinilai menurut:

1. Tingkat keawetan.
2. Tingkat kekuatan.

1. TINGKAT KEAWETAN

Tingkat keawetan kayu adalah:

daya tahan kayu terhadap pengaruh kerusakan oleh binatang-binatang kecil seperti rayap, dan lain-lain dan pengaruh alami seperti panas matahari, air, dan sebagainya.

Untuk itu diadakan penelitian terhadap 5 kelas & 6 macam penempatan kayu yang menunjukkan jumlah tahun selama kayu masih tetap dalam keadaan baik. (Tabel PKKI, hal 65-66).

Tingkat/ Kelas	a	b	c	d	e	f
I	8	20	~	~	tidak	tidak
II	5	15	~	~	jarang	tidak
III	3	10	sangat lama	~	agak cepat	hampir tidak
IV	sangat pendek	beberapa tahun	beberapa tahun	20	sangat cepat	tak seberapa
V	sangat pendek	sangat pendek	pendek	20	sangat cepat	sangat cepat

Keterangan:

a → kayu ditempatkan di tanah yang lembab.

b → kayu ditempatkan di tempat yang tidak terlindung
(terbuka terhadap angin dan iklim).

c → kayu ditempatkan di bawah atap tidak berhubungan dengan tanah
lembab & dilindungi terhadap kelembasan.

d → seperti pada point (c) & dipelihara.

e → serangan oleh rayap.

f → serangan oleh bubuk kayu kering.

2. TINGKAT KEKUATAN

Di Indonesia, tingkat kekuatan kayu berpangkal pada kekuatan lentur & berat jenis kering udara.

Berdasarkan tingkat kekuatan dibagi atas 5:

Kelas kuat	Berat jenis	Kekuatan lengkung absolut (kg/ cm ²)	Kekuatan tekan absolut (kg/ cm ²)
I	≥ 0,90	≥ 1100	≥ 650
II	0,90-0,60	1100-725	650-425
III	0,60-0,40	725-500	425-300
VI	0,40-0,30	500-360	300-215
V	< 0,30	< 360	< 215

Berdasarkan tingkat keawetan dan kekuatan di atas, ditentukan tingkat pemakaian kayu.

Adapun 5 macam tingkat pemakaian kayu tersebut adalah :

Tingkat I & II : untuk konstruksi berat, tidak terlindung.

Tingkat III : untuk konstruksi berat & terlindung.

Tingkat VI : untuk konstruksi ringan & terlindung.

Tingkat V : untuk pekerjaan sementara.

TEGANGAN-TEGANGAN IZIN KAYU

Untuk perencanaan konstruksi kayu diperlukan tegangan-tegangan izin dari tiap jenis kayu.

Menurut PKKI tegangan izin kayu dari tiap jenis kayu adalah sebagai berikut :

Tegangan	Kelas Kuat					Jati
	I	II	III	IV	V	
σ_{lt} (kg/ cm ²)	150	100	75	50	-	130
$\sigma_{tk//} = \sigma_{tr//}$ (kg/ cm ²)	130	85	60	45	-	110
$\sigma_{tk\perp}$ (kg/ cm ²)	40	25	15	10	-	30

$\tau_{//}$ (kg/ cm ²)	20	12	8	5	-	15
------------------------------------	----	----	---	---	---	----

Korelasi tegangan untuk kayu mutu A :

$$\sigma_{lt} = 170 \text{ g}$$

$$\sigma_{tk //} = \sigma_{tr //} = 150 \text{ g}$$

$$\sigma_{tk \perp} = 40 \text{ g}$$

$$\tau_{//} = 20 \text{ g}$$

⇒ g = berat jenis kayu kering udara.

Menurut PKKI pasal 3, kayu dapat dibedakan atas 2 mutu:

- Kayu mutu A
- Kayu mutu B

Syarat-syarat kayu mutu A:

- kayu harus kering udara
- mata kayu < $\frac{1}{6}$ lebar balok dan < 3,5 cm.
- balok tidak boleh mengandung wanulak (cacat kayu) > $\frac{1}{10}$.
- miring arah serat, $\text{tg } \alpha \leq \frac{1}{10}$.
- retak-retak kayu dalam arah radial < $\frac{1}{4}$ tebal kayu.
- retak-retak kayu dalam arah lingkaran tumbuh < $\frac{1}{5}$ tebal kayu.

Syarat-syarat kayu mutu B:

- kadar lengas < 30%.
- mata kayu < $\frac{1}{4}$ lebar kayu dan < 5 cm.
- wanulak < $\frac{1}{10}$ tinggi balok.
- $\text{tg } \alpha \leq \frac{1}{7}$.
- retak kayu dalam arah radial < $\frac{1}{3}$ tebal kayu.
- retak kayu dalam arah lingkaran tumbuh < $\frac{1}{4}$ tebal kayu.

Tegangan izin kayu:

$\text{mutu B} = 0,75 \times \text{mutu A}$

Modulus Elastisitas (E) menurut PKKI (halaman 6) :

Kelas	E (kg/ cm ²)
I	125.000
II	100.000
III	80.000
IV	60.000

Tegangan izin kayu untuk suatu konstruksi dipengaruhi oleh beberapa faktor:

1. Keadaan konstruksi (β)

σ harus digantikan dengan faktor:

- a. faktor 1 → untuk konstruksi terlindung.
- b. faktor $2/3$ → untuk konstruksi :
 - tidak terlindung.
 - terendam air.
 - di dalam terowongan.
- c. faktor $5/6$ → untuk kayu dapat kering dengan cepat (untuk konstruksi tidak terlindung).
Contoh: jembatan perancah.

2. Sifat beban (γ)

σ harus digandakan dengan faktor:

- a. faktor 1 → untuk pembebanan jenis permanen.
- b. faktor $5/4$ → untuk pembebanan tidak permanen :
 - muatan tetap, tekanan angin.
 - muatan tetap & tidak tetap.

Tegangan izin:

$$\sigma_R = \beta \cdot \gamma \cdot \sigma$$

Contoh:

Sebuah jembatan dipakai kayu jati.

Hitung σ_R !

Penyelesaian: $\sigma_{It} = 130 \text{ kg/ cm}^2$
 $\beta = 5/6$

$$\begin{aligned}\gamma &= 1 \\ \sigma_R &= \beta \cdot \gamma \cdot \sigma \\ \sigma_R &= \frac{5}{6} \cdot 1 \cdot 130 \text{ kg/cm}^2 = 108 \text{ kg/cm}^2.\end{aligned}$$

Metoda-Metoda Melindungi Kayu Selain Dari Cara Pengawetan Standar.

Banyak cara digunakan untuk melindungi kayu dari kerusakan, tergantung pada penyebab terhadap mana perlindungan itu diperlukan, derajat proteksi yang dibutuhkan, dan banyak faktor-faktor lain yang peranannya berbeda-beda dalam tipe-tipe kasus. Kondisi-kondisi tempat penyimpanan atau penggunaan kayu seringkali sedemikian sehingga kerusakan dengan mudah dapat dicegah dengan sanitasi yang baik atau cara pengawasan yang sederhana dan relatif murah. Beberapa metode proteksi menyangkut penggunaan zat-zat kimia; yang lain membuat perintang-perintang mekanis terhadap serangan-serangan; sedangkan yang lainnya lagi hanya didasarkan pada usaha menghindari adanya kondisi-kondisi berkembangnya penyebab-penyebab kerusakan. Uraian-uraian berikut mengenai berbagai tindakan pencegahan hanya diberikan secara singkat dan untuk keterangan-keterangan yang lebih mendetil pembaca dapat melihat publikasi-publikasi yang disebutkan.

1. PROTEKSI TERHADAP KERUSAKAN CENDAWAN.
 - Proteksi kayu-kayu glondongan dan kayu-kayu bulat.
 - Proteksi kayu gergajian
2. PERLAKUAN-PERLAKUAN SECARA KIMIAWI.
 - Proteksi bagi barang-barang jadi
 - Proteksi bagi bangunan-bangunan
3. PROTEKSI TERHADAP RAYAP
4. PROTEKSI TERHADAP KUMBANG BUBUK LYCTUS
5. PROTEKSI KAYU PANCANG TERHADAP CACING LAUT
 - Penyelubungan dengan beton
 - Pengecatan
 - Metode Cat-dan-Papan
 - Proteksi dasar-dasar kapal.
6. PROTEKSI TERHADAP LENGAS
 - Perlakuan Impregnasi
 - Perlakuan-perlakuan untuk menghambat lengas

- Perlakuan-perlakuan untuk menghambat penyusutan
 - Pelapisan untuk menghambat lengas
7. **PROTEKSI TERHADAP KEAUSAN MEKANIK**
8. **PROTEKSI TERHADAP PELAPUKAN**
- Perlakuan-perlakuan yang tahan asam.
-

BAB IX

SIFAT BAHAN POLIMER

Topik ke : IX
Judul topik : Sifat Bahan Polimer
Waktu : 3 jam kuliah
Tujuan :

1. Tujuan Instruksional Umum:

Mahasiswa dapat memahami sifat bahan polimer.

2. Tujuan Instruksional Khusus:

Setelah mengikuti uraian perkuliahan topik ini, mahasiswa dapat :

- mengetahui sifat-sifat bahan polimer.
- Mengevaluasi pemanfaatan dan pemakaian bahan polimer.

Pokok Bahasan :

Menguraikan sifat bahan polimer.

Sub Pokok Bahasan :

- a. Sifat khas polimer
- b. Sifat mekanik.
- c. Sifat termal
- d. Sifat listrik
- e. Sifat kimia.

Pustaka :

1. Tata Surdia, Shinroku Saito, “ Pengetahuan Bahan Teknik”, Pradnya Paramita, Jakarta, 1999.

BAB IX

SIFAT BAHAN POLIMER

Plastik, serat, film dan sebagainya yang biasa dipergunakan dalam kehidupan sehari-hari mempunyai berat molekul diatas 10.000. Bahan dengan berat molekul yang besar itu disebut polimer, mempunyai struktur dan sifat-sifat yang rumit disebabkan oleh jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar dibandingkan dengan senyawa yang berat atomnya rendah. Umumnya suatu polimer dibangun oleh satuan struktur tersusun secara berulang diikat oleh gaya tarik-menarik yang kuat yang disebut ikatan kovalen, dimana setiap atom dari pasangan terikat menyumbangkan satu electron untuk membentuk sepasang electron.

Bahan polimer mempunyai berat molekul besar dan berikatan kovalen, samasekali menunjukkan sifat-sifat yang berbeda dari bahan organik yang mempunyai berat molekul rendah. Bahan yang mempunyai berat molekul rendah berubah menjadi cair dengan viskositas rendah atau menguap kalau dipanaskan, sedangkan bahan polimer mencair dengan sangat kental dan tidak menguap. Bahan yang tidak bias berfusi itu terurai karena panas menjadi karbon, pada tahap akhir tanpa penguapan.

Sifat-sifat khas bahan polimer pada umumnya adalah sebagai berikut :

- 1) Mampu cetak adalah baik. Pada temperatur relatif rendah bahan dapat dicetak dengan penyuntikan, penekanan, ekstrusi, dan seterusnya, yang menyebabkan ongkos pembuatan lebih rendah daripada untuk logam dan keramik.
- 2) Produk yang ringan dan kuat dapat dibuat. Berat jenis polimer rendah dibandingkan dengan logam dan keramik, yaitu 1,0 – 1,7, yang memungkinkan membuat barang kuat dan ringan.
- 3) Banyak diantara polimer bersifat isolasi listrik yang baik. Polimer mungkin juga dibuat konduktor dengan jalan mencampurnya dengan serbuk logam, butiran karbon, dan sebagainya.
- 4) Baik sekali dalam ketahanan air dan ketahanan zat kimia. Pemilihan bahan yang baik akan menghasilkan produk yang mempunyai sifat-sifat baik sekali.
- 5) Produk-produk dengan sifat yang cukup berbeda dapat dibuat tergantung pada cara pembuatannya.
- 6) Umumnya bahan polimer lebih murah.

- 7) Kurang tahan terhadap panas. Hal ini sangat berbeda dengan logam dan keramik. Walaupun ketahanan panas bahan polimer tidak sekuat logam dan keramik, pada penggunaannya harus cukup diperhatikan.
- 8) Kekerasan permukaan yang sangat kurang. Bahan polimer yang keras ada, tetapi masih jauh dibawah kekerasan logam dan keramik.
- 9) Kurang tahan terhadap pelarut. Umumnya larut dalam zat pelarut tertentu kecuali beberapa bahan khusus seperti politetrafluoretilen. Kalau tidak dapat larut, mudah retak karena kontak yang terus menerus dengan pelarut dan disertai adanya tegangan. Karena itu perlu perhatian yang cukup.
- 10) Mudah termuati listrik secara elektrostatik. Kecuali beberapa bahan yang khusus dibuat agar menjadi hantaran listrik, kurang higroskopik dan dapat dimuati listrik.
- 11) Beberapa bahan tahan abrasi, atau mempunyai koefisien gesek yang kecil.

Dengan melihat berbagai sifat yang disebutkan di atas, maka sangat penting untuk memilih bahan yang paling cocok.

I MASA JENIS

Masa jenis menyangkut banyak sifat-sifat polimer. Masa jenisnya jauh lebih rendah dari logam (2,7 – 9) dan keramik (2,1 – 5,3). Dibandingkan dalam volume yang sama, lebih mudah didapat bahan yang lebih ringan dan lebih kuat. Bahan polimer kadangkala dipakai memperkecil masa jenis dengan pembusaan, karena itu masa jenisnya menjadi lebih penting daripada bahan lain. Polietilen dan polipropilen mempunyai masa jenis lebih kecil dari air, yang memungkinkan membuat suatu barang terapung di atas air. Pada nilon, polyester, polipropilen, polietilen, dan seterusnya, yang mengandung kristal, masa jenis di bagian yang berkristal lebih tinggi daripada di bagian yang amorf, karena itu masa jenisnya, tergantung pada derajat kristalinitasnya.

Sifat ringan adalah salah satu sifat khas dari bahan polimer walaupun ada perbedaan sedikit dari masing-masing harga masa jenis tersebut.

II SIFAT MEKANIK

Sifat-sifat mekanik bahan polimer adalah khas dengan kelakuan viskoelastiknya yang dominan. Sebagai contoh, penyusutan (creep) dan relaksasi mudah terjadi, dan pada pengujian tarik sifat-sifatnya sangat dipengaruhi oleh laju tarikan. Sifat-sifatnya juga

berubah karena temperatur, oleh karena itu dalam hal ini perlu perhatian yang cukup sebelum penggunaan bahan polimer.

Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah salah satu sifat dasar bahan. Hubungan tegangan – regangan pada tarikan memberikan nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, temperatur, kelembaban, dst, sebab dalam bahan polimer sifat-sifat viskoelastik mempunyai kekhasan seperti dinyatakan diatas. Pada bahan termoplastik kelakuan demikian sangat berubah dengan pengarahannya molekul rantai dalam bahan. Umumnya kekuatan tarik bahan polimer lebih rendah dari baja, duralumin, dan sebagainya. Kekuatan tarik nilon 66 adalah 6,5 - 8,4 kgf/mm² dan PVC 3,5 – 6,3 kgf/mm². Sedangkan pada film dan serat sangat kuat, dimana molekul-molekulnya terarahkan oleh peregangan. Deformasi oleh penarikan sampai patah berbeda banyak tergantung pada jenis dan temperatur.

Sifat Tekukan, Lenturan

Umumnya pada bahan polimer modulus elastik untuk tekan berbeda dengan tarik, tegangan tekan yang besar terjadi pada bagian yang mengalami tegangan tekan. Selanjutnya pada bahan polimer kekuatan tekan jauh lebih besar dari kekuatan tarik, hal inilah yang menyebabkan patah karena tekukan pada bagian yang mengalami tegangan tarik. Kekuatan tekuk lebih besar dari pada kekuatannya tarik tetapi lebih kecil daripada kekuatan tekan. Modulus Young pada lenturan adalah 50 – 1200 kgf/mm², kira-kira 1/20 – 1/400 nya dari baja. Karena defleksi pada lenturan biasanya besar, defleksi perlu diperiksa sebelum pemakaian. Sifat tekukan dapat diperbaiki dengan diperkuat oleh serat gelas kekuatan tekuk mencapai 15 – 40 kgf/mm².

Kekuatan Tekan

Karena bahan polimer mempunyai cacat yang kecil atau mengandung zat pengisi tertentu, maka bahan polimer dapat mengalami deformasi yang besar, umumnya kekuatan tekan lebih besar daripada kekuatan tarik dan modulus elastik untuk tekan juga lebih besar daripada untuk tarik.

Ada beberapa resin termoplastik yang berdeformasi karena tekanan tekan sangat berbeda dengan tegangan tarik. Disamping itu kekuatan tekan bahan polimer umumnya 2-5 kali lebih besar daripada kekuatannya gesernya. Oleh karena itu kehancuran karena geseran lebih mudah daripada disebabkan tekanan. Kebanyakan resin termoset dan

resin termoplastik termasuk bahan yang berdeformasi banyak, mulur tetapi tidak mudah patah. Sama seperti sifat-sifat lainnya, titik mulur, tegangan patah, modulus elastik untuk tekan berkurang dan regangan patah cenderung bertambah sesuai dengan naiknya temperatur dan kelembaban.

Kekuatan Impak

Kekuatan impak adalah suatu criteria penting untuk mengetahui kegetasan bahan polimer. Pengujian impak Charphy, Izod dst, dalam hal ini umum dipakai. Untuk mengetahui pengaruh takikan ada cara pengujian dengan takikan pada batang uji.

Umumnya kekuatan impak bahan polimer lebih kecil daripada kekuatan impak logam. Bahan yang kaku dan ketahanan impaknya rendah banyak terdapat pada bahan termoplastik yang mempunyai titik transisi gelas tinggi. Bahan polimer kadang-kadang menunjukkan juga penurunan besar pada kekuatan impak kalau diberi regangan pada pencetakannya.

Selanjutnya pada umumnya sifat-sifat yang diperlukan dapat diperbaiki kalau ditambahkan pengisi yang cocok ke dalam resin. Macam dan bentuk pengisi memberikan pengaruh banyak. Sedangkan pengaruh temperatur lebih rumit. Harga impak menjadi besar dengan meningkatkan absorpsi kadar air dan menjadi kecil karena pengeringan

Kekerasan

Kekerasan adalah criteria untuk menyatakan intensitas tahanan suatu bahan terhadap deformasi yang disebabkan objek lain. Bahan polimer menunjukkan sifat kekerasan yang berbeda dibandingkan dengan logam karena sifat viskoelastiknya. Karena besarnya deformasi elastik dan pemulihan yang cepat, pada pengujian penekanan hasil kekerasan yang didapat lebih besar dari kekerasan seharusnya.

Ketahanan Aus dan Gesekan

Mekanisme gesekan pada bahan polimer sangat berbeda dengan mekanisme pada logam. Pada logam, koefisien gesekan hampir konstan tidak tergantung beban, luas bidang kontak laju gesekan. Tetapi pada bahan polimer koefisien gesekan tergantung beban, bidang kontak, dst. Umumnya cenderung berkuang kalau beban bertambah, karena bahan menunjukkan kelakuan tengah-tengah antara deformasi elastik dan deformasi plastik.

Abrasi antara bidang merupakan hal yang penting apabila bahan polimer dibuat benda yang bergesekan. Mengingat hantaran termal yang jelek, temperaturnya naik karena panas gesekan, dan untuk bahan termoplastik hal ini disebabkan penambahan fluks. Karena ketahanan panasnya kurang dibandingkan dengan logam dan keramik, maka permukaannya dilelehkan oleh bertambahnya beban dan laju gesekan, yang menyebabkan bahan tidak dapat dipakai.

Ketahanan Lelah

Pembebanan luar yang diberikan berulang-ulang kepada bahan lebih cepat mengalami patah. Gejala ini disebut kelelahan yang merupakan sifat penting dalam penggunaan bahan. Kelelahan biasanya dinyatakan dengan tegangan maksimum bolak-balik untuk sejumlah balikan tegangan. Bentuk tegangan dalam kelelahan adalah tarik, tekan tekuk (lentur), puntir dan kombinasinya.

Kelelahan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Kalau temperatur naik ketahanan lelah turun. Pengaruh laju balikan (frekwensi) terbatas sampai harga tertentu, tetapi apabila dibandingkan pada banyak balikan serupa, kelelahan lebih cepat terjadi pada laju balikan rendah. Bentuk batang uji juga memberikan beberapa pengaruh.

III SIFAT TERMAL

Sifat khas bahan polimer sangat berubah oleh perubahan temperatur. Hal ini disebabkan apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena termal akan mengubah kumpulan molekul atau merubah struktur. Selanjutnya, karena panas, oksigen dan air bersama-sama, memancing reaksi kimia pada molekul-molekul, terjadilah polimerisasi, oksidasi, hidrolisa dst, yang lebih hebat terjadi pada temperatur tinggi. Keadaan tersebut jelas akan mempengaruhi sifat-sifat : mekanik, listrik dan kimia. Pada bagian ini, dalam daerah terbatas karena sifat-sifat termalnya akan dibicarakan mengenai hantaran termal, kapasitas termal dan panas jenis, koefisien pemuaian akibat pergerakan molekul oleh panas dan temperatur transisi gelas yang berupa indeks penting bahan, titik cair, titik lunak dan ketahanan panas.

Koefisien Pemuaian Termal

Koefisien pemuaian panjang karena panas adalah sederhana apabila bahan bersifat isotropi, tetapi apabila struktur bahan berbeda di setiap arah maka diperlukan suatu pertimbangan khusus. Bahan polimer sering dibuat anisotropy pada proses

pembuatannya. Serat dan film jelas dibuat anisotropy dan sering terjadi penyusutan karena panas.

Hubungan antara volume jenis dan temperatur tidak lurus yang berarti bahwa koefisien pemuaian panjangnya berubah juga berubah oleh kenaikan temperatur. Umumnya koefisien pemuaian lebih besar pada temperatur lebih tinggi

Panas Jenis

Panas jenis bahan polimer kira-kira $0,25 - 0,55 \text{ cal/g/}^\circ\text{C}$, yang lebih besar dibandingkan dengan bahan logam dan keramik. Hal ini disebabkan karena panas jenis adalah panas yang diperlukan untuk pergerakan termal dari molekul-molekul dalam strukturnya, sedangkan energi kinetik termal dari molekul lebih besar dari energi relaksasinya kisi kristal. Perbedaan panas jenis beberapa bahan polimer tergantung pada perbedaan komposisi. Perubahan diharapkan terjadi karena pengisi.

Koefisien Hantaran Termal

Koefisien hantaran termal adalah harga yang penting bagi bahan polimer sehubungan dengan panas pencetakan dan penggunaan produknya. Mekanisme penghantar panas pada bahan polimer juga merupakan akibat propagasi panas pergerakan molekul. Cara terjadinya formasi kristal dengan adanya daerah amorf dst.nya pada dasarnya berbeda dengan bahan lain, yang menunjukkan harga rendah dibandingkan dengan bahan logam dan keramik.

Kalau strukturnya menjadi anisotropik seperti pada serat dan film, koefisien hantaran termal pada arah kerangka molekul yang tersusun oleh molekul rantai menjadi agak lebih besar. Kalau diisi dengan serat gelas, silica atau pengisi bahan organic lainnya, hantaran termal menjadi lebih baik.

Bahan polimer sering diproses untuk menghasilkan bahan isolasi panas.

Titik Tahan Panas

Kalau temperatur bahan polimer naik, pergerakan molekul menjadi aktif ke titik transisi, yang menyebabkan modulus elastik dan kekerasannya rendah, sedangkan tegangan patahnya lebih kecil dan perpanjangannya besar. Sehubungan dengan itu, sifat listrik, ketahanan volume, tegangan putus dielektrik dst.nya menjadi kecil dan pada umumnya konstanta dielektrik menjadi besar.

IV SIFAT LISTRIK

Banyak bahan polimer yang sukar dilalui listrik dan tahan terhadap medan listrik, oleh karena itu sering dipakai sebagai isolator listrik. Kalau bahan isolator pada suatu tegangan listrik, terjadi polarisasi, yang disebabkan oleh gerakan pembawa muatan seperti ion, electron, dst.nya dan perpindahan electron, aton, dst., di dalam bahan.

Listrik dihantar oleh gerakan pembawa muatan, oleh karena itu bahan yang memiliki gerakan lamban dan pembawa yang kurang banyak merupakan isolator listrik yang baik.

Tahanan dan kekuatan dielektrik yang menyangkut gerakan pembawa muatan disebut mutu isolasi, sedangkan konstanta dielektrik dan kerugian dielektrik yang menyangkut polarisasi disebut sifat-sifat dielektrik.

Kekuatan Hancur Dielektrik

Tahanan Isolasi

Tahanan Permukaan

Konstanta Dielektrik

Elektrifikasi

V SIFAT KIMIA

Akan dijelaskan mengenai kelarutan dan tahanan kimia dari bahan termoplastik.

Kelarutan

Bahan bermolekul besar menunjukkan kelaluan yang rumit dalam hal melarut dibanding dengan bahan bermolekul kecil. Kalau bahan polimer dijenuhkan oleh bahan pelarut yang baik, maka pada umumnya polimer tersebut akan membengkak, didispersikan dan dilarutkan.

Ada beberapa faktor yang menentukan kelarutan, yaitu :

1. Temperatur larutan.
2. Berat molekul, struktur molekul.
3. Kristalinitas.
4. Kepolaran
5. Pelarut campuran.

Tahanan Kimia

Ketahanan kimia berada di daerah luas mulai dari bahan yang sukar diserang oleh setiap bahan kimia seperti politetrafluoretilen sampai ke bahan mudah larut dalam pelarut organik seperti dalam asetat dan alcohol. Sifat-sifat ini sampai sejauh tertentu dapat dianggap ditentukan oleh struktur molekul bahan polimer.

DAFTAR ACUAN

1. Tjokrodimuljo K, “Teknologi Beton”, Nafiri, Yogyakarta, 1996
 2. Sagel R., Kole P., Kusuma Gideon, “Pedoman Pengerjaan Beton” Berdasarkan SKSNI-T15-1991-03.Seri Beton 2, Erlangga, Jakarta, 1994.
 3. Vis - Kusuma, “Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang”,1994.
 4. ACI Code and ASTM Standards.
 5. Richards C.W, “Engineering Materials Science”, Belmont, California,1961.
 6. George M. Hunt, George A. Garratt, “Pengawetan Kayu”, Akademika Pressindo, Jakarta, 1986.
 7. Tata Surdia, Shinroku Saito, “Pengetahuan Bahan Teknik”, Pradnya Paramita, Jakarta, 1984.
 8. Lawrence H. Van Vlack, Sriati Djaprie, “Ilmu dan Teknologi Bahan”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.
 9. Hari Amanto, Daryanto, “Ilmu Bahan”, Bumi Aksara, Jakarta, 1999.
 10. Lin T.Y., Burns H.,” Desain Struktur Beton Prategang”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
 11. Wang C.K., Salmon C.G., Hariandja Binsar,” Disain Beton Bertulang”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986.
-