

KESALAHAN UMUM DALAM PEKERJAAN BETON



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN

KESALAHAN UMUM DALAM PEKERJAAN BETON

Diproduksi : Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Penyusun : Balai Litbang Struktur Jembatan
Editor : Yudi Hardiana, ST.MT
NB. R. Noor Suarni, S.Sos.M.Si
Desain & Tata Letak : Irfan Kusfani

Cetakan ke 2 Tahun 2016, 26 Halaman

@Pemegang Hak Cipta Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

ISBN : 978-602-264-097-4

Diterbitkan oleh :

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Badan Penelitian dan Pengembangan
Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jl. AH. Nasution No. 264 Ujung Berung – Bandung 40239

Informasi lebih lanjut hubungi :

info@pusjatan.pu.go.id

pemasaran@pusjatan.pu.go.id

Bidang Standardisasi dan Kerjasama

Kata Pengantar

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mempunyai tugas menyelenggarakan urusan pemerintah di bidang pekerjaan umum dalam pembangunan, pengelolaan serta pengembangan di bidang jalan dan jembatan guna mendukung perekonomian nasional dalam rangka mewujudkan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, pola pembangunannya harus mampu menjawab kebutuhan strategis yang berlingkup nasional, regional maupun lokal. Untuk itu dalam menyusun program pembangunan, pemerintah perlu memperhatikan banyak sektor khususnya yang terkait potensi lahan dan lingkungan serta sumber daya manusia, baik secara kuantitas maupun kualitas.

Dalam rangka menunjang program pemerintah, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat menerbitkan Buku **"KESALAHAN UMUM DALAM PEKERJAAN BETON"**. Buku ini disusun sebagai salah satu referensi dalam rangka pembinaan sumber daya manusia, sekaligus sebagai bahan pembelajaran bagi perencana, pelaksana, pengawas dan praktisi yang terkait dalam bidang jalan dan jembatan.

Buku ini disiapkan oleh Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, atas segala bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan buku ini, diucapkan banyak terima kasih.

Semoga buku ini bermanfaat bagi semua pihak dan dapat menjadi acuan dalam menunjang program pemerintah dalam pembangunan jalan dan jembatan.

Bandung, September 2016

Kepala Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

t.t.d

Dr. Eng. Ir. Herry Vaza, M. Eng. Sc

Daftar Isi

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Daftar Gambar	iii
Daftar Tabel	iv
1. Informasi umum tentang kesalahan pekerjaan beton	1
2. Kesalahan penggunaan material bahan campuran beton	1
2.1 Kesalahan contoh uji tidak mewakili	1
2.2 Kesalahan mutu dan kondisi bahan tidak memenuhi syarat	1
3. Kesalahan rancangan campuran (mix design) beton	3
4. Kesalahan penanganan material	4
4.1 Kesalahan penanganan agregat	4
4.2 Kesalahan penanganan semen	8
4.3 Kesalahan penanganan air	8
4.4 Kesalahan penanganan bahan tambah (admixture)	8
5. Kesalahan penakaran bahan	8
6. Kesalahan pencampuran (mixing)	10
7. Kesalahan pengangkutan adukan beton	10
8. Kesalahan pengecoran	11
8.1 Kesalahan menambah air pada adukan beton yang sudah jadi	11
8.2 Kesalahan cara pengecoran	12
8.3 Kesalahan adukan beton sudah setting ketika dicorkan	14
9. Kesalahan pengujian slump	14
10. Kesalahan pembuatan benda uji	15
11. Kesalahan pemadatan beton segar	15
13. Kesalahan pengecoran dalam cuaca panas	18
14. Kesalahan pada pekerjaan beton siap pakai	19
15. Kesalahan pengambilan benda uji	20
16. Kesalahan evaluasi mutu	21
17. Kesalahan penggunaan data hasil non-destructive test dengan alat palu beton	25
Daftar Pustaka	26

Daftar Gambar

Gambar 1 - Material yang turun dari truk menggelinding pada lereng untuk sampai ke bawah sehingga terjadi segregasi. Truk beroperasi berulang-ulang di atas tumpukan material yang sudah ada.....	4
Gambar 2 - Kapasitas crane tidak boleh melebihi kapasitas muat truk. Tumpukan material dibuat sedemikian sehingga tidak terjadi material menggelinding pada lereng	4
Gambar 3 - Penumpukan lapisan-lapisan material oleh bulldozer dengan kelandaian lereng lebih dari 3:1, kecuali untuk material tertentu yang memungkinkan kelandaian lebih dari 3:1	5
Gambar 4 - Tumpukan dibuat secara melingkar dalam lapis-lapis horizontal oleh bulldozer yang bekerja dari material yang dijatuhkan dari ban berjalan (conveyor belt).	5
Gambar 5 - Penggunaan Rock Leader dan Pipa.....	5
Gambar 6 - Bahan yang dijatuhkan bebas dari ujung penimbun memberi kesempatan pada angin untuk memisahkan butiran halus dari bahan-bahan kasar.....	6
Gambar 7 - Gunakan ban berjalan yang dapat dipindah-pindah serta dilengkapi kerucut berdinding curam dengan tinggi jatuhnya bahan serendah mungkin.....	6
Gambar 8 - Mengisikan bahan dengan cara dimiringkan sehingga agregat mengalir melalui bidang curam tetapi tidak langsung di atas lubang pengeluaran kotak, biasanya menghasilkan tumpukan agregat yang kurang seragam	6
Gambar 9 - Dengan mengisikan bahan secara vertikal ke dalam kotak langsung di atas lubang pengeluaran menghasilkan pengeluaran bahan yang biasanya lebih seragam	7
Gambar 10 - Penimbunan dengan cara membentuk gunung seperti ini dapat menjadikan pemisahan butiran kasar pada bagian lerengnya	7
Gambar 11 - Material ditumpuk sendiri-sendiri secara berlapis, tidak terjadi kemungkinan turunnya material ke bawah	7
Gambar 12 - Tipikal kondisi agregat	8
Gambar 13 - Mengangkut adukan beton di lokasi pengecoran	11
Gambar 14 - Adukan beton diangkut ke lokasi pengecoran dengan truck mixer	11
Gambar 15 - Cara-cara menempatkan adukan beton	13
Gambar 16 - Kesalahan menyebarkan tumpukan adukan beton dengan vibrator	13
Gambar 17 - Bentuk-bentuk slump	14
Gambar 18 - Proses pemadatan adukan beton dengan alat vibrator	15
Gambar 19 - Posisi vibrator ketika digunakan.....	16

Gambar 20 - <i>Timing</i> memasukkan dan mengeluarkan vibrator	16
Gambar 21 - Pengaturan jarak pindah vibrator	16
Gambar 22 - Vibrator mengenai tulangan	17
Gambar 23- Pengaruh perawatan terhadap mutu beton	18
Gambar 24 - Laju penguapan air dalam adukan beton	18
Gambar 25 - Palu beton (<i>concrete hammer</i>)	25
Gambar 26 - Korelasi angka pantul terhadap kekuatan tekan beton	25

Daftar Tabel

Tabel 1 - Pengaruh karakteristik bahan campuran terhadap sifat-sifat campuran beton	2
Tabel 2 - Deviasi standar	3
Tabel 3 - Faktor Modifikasi Standar Deviasi	22

1. Informasi umum tentang kesalahan pekerjaan beton

Jika dilihat dari sifat beton keras yang memiliki kekuatan tekan tinggi serta mempunyai sifat tahan terhadap pengkaratan/pembusukan oleh kondisi lingkungan, beton memungkinkan untuk digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan dengan umur rencana panjang, bila dalam pelaksanaannya dilakukan dengan benar.

Namun dalam kenyataan banyak sekali konstruksi bangunan yang terbuat dari beton sudah mengalami penurunan kondisi lebih awal jauh sebelum umur rencana bangunan tercapai, salah satu faktor penyebabnya adalah terjadinya kegagalan mutu beton.

Pekerjaan pembetonan dimulai dari tahap pemilihan material bahan campuran, perancangan, pelaksanaan pengecoran, perawatan (*curing*), dan evaluasi mutu beton. Kegagalan pekerjaan beton bisa terjadi karena adanya kesalahan pada salah satu dari tahapan tersebut, atau bahkan kesalahan pada lebih dari satu tahap.

Adalah sangat penting bagi para perancang campuran, para pelaksana, dan juga para pengawas pekerjaan beton untuk memahami sifat-sifat beton agar mampu menghindari terjadinya kesalahan dalam pekerjaan beton.

Perlu diketahui bahwa kondisi beton keras terjadi karena proses kimiawi antara semen dengan air sejak beton masih dalam kondisi plastis, sehingga tidak mungkin memperbaiki mutu beton keras yang gagal, sedangkan penanganan terhadap struktur bangunan beton yang gagal tidaklah mudah dan biayanya mahal.

2. Kesalahan penggunaan material bahan campuran beton

2.1 Kesalahan contoh uji tidak mewakili

Rancangan campuran (*mix design*) di laboratorium yang kemudian dijadikan pegangan untuk melahirkan suatu *Job Mix Formula (JMF)*, dibuat berdasarkan data hasil pengujian contoh bahan. Dengan demikian jelas, karakteristik contoh bahan tersebut harus mewakili material yang akan digunakan dalam produksi beton yang sesungguhnya. Ketidak-sesuaian antara karakteristik atau mutu & kondisi material contoh dengan material sesungguhnya dalam pelaksanaan di lapangan dapat berakibat pada tidak terpenuhinya kriteria mutu basah adukan beton segar, bahkan untuk suatu tingkat ketidak-sesuaian yang cukup berarti antara kondisi contoh bahan dengan material yang sesungguhnya dapat berakibat fatal pada mutu beton keras yang dihasilkan. Oleh karena itu contoh bahan untuk keperluan pengujian di laboratorium harus diambil dengan teknik pengambilan contoh secara benar mengikuti SNI 03-6889-2002.

2.2 Kesalahan mutu dan kondisi bahan tidak memenuhi syarat

Kenyataan di lapangan akan sulit mendapatkan material campuran beton utamanya agregat yang sama sekali bebas dari bahan-bahan atau zat-zat yang berpengaruh negatif terhadap mutu beton, kecuali jika dikondisikan.

Adanya spesifikasi yang menetapkan syarat batas-batas maksimum untuk bahan-bahan yang bisa merusak mutu beton seperti kadar lumpur agregat, kadar organik dan lain-lain merupakan toleransi yang masih diizinkan untuk mendapatkan beton yang masih memenuhi syarat mutu.

Dari hal-hal yang ditetapkan dalam spesifikasi ada yang berpengaruh langsung terhadap kekuatan beton, terhadap workabilitas adukan beton basah, dan terhadap proses hidrasi semen yang pada akhirnya akan menentukan mutu hasil produksi. Oleh karena itu, masing-

masing bahan campuran harus dipahami karakteristiknya serta pengaruhnya terhadap sifat-sifat campuran beton.

Tabel 1 - Pengaruh karakteristik bahan campuran terhadap sifat-sifat

PENGUJIAN BAHAN	SPESIFIKASI		PENGARUH TERHADAP SIFAT & MUTU BETON
Semen Kehalusan Waktu pengikatan awal Waktu pengikatan akhir Kekuatan tekan mortar Panas hidrasi	maks tertahan di atas # : No. 100 : 0% No. 200 : 20% min menit maks. menit min..... maks.....		kecepatan pengikatan, kekuatan mortar, workability, permeability kekuatan awal (kecil), pelaksanaan pekerjaan Kesinambungan pengecoran mutu semen, kekuatan beton retak, kualitas beton
Agregat Bahan yang lebih halus dari # No. 200, maks. Kotoran organik, maks. Berat jenis, min. Peresapan, maks. Berat isi, kg/dm ³ , min. Gumpalan lempung dan partikel mudah pecah, maks Partikel ringan, maks. Butiran pipih dan panjang, maks. Ketahanan thd keausan, maks. Soundness, maks . Thd Na ₂ SO ₄ thd MgSO ₄ Crushing Value, Maks. Impact value, maks. Alkali reaktif	Halus 3% No. 3 2,5 5% 1,2 3% 1% - - 10% 15% - -	Kasar 1% - 2,5 2,5 % 1,2 2% 1% 20% 40% 12% 18% 40% 40%	pengikatan (bonding), workability, terbentuknya lapisan film, kekuatan turun setting time beton, perkembangan kekuatan, durability mutu agregat, workability, kekuatan beton berat jenis, mutu agregat, kekuatan mutu bahan, berat jenis, perhitungan volume, kekuatan bonding, keperluan air , pemakaian semen, kekuatan permeability, kekuatan, durability workability, kekuatan tekan mutu sedang/tinggi, kekuatan lentur workability, kekuatan, bonding, ketahanan aus permukaan pengembangan agregat (ekspansif pd suhu dingin), beton pecah kekuatan, bonding, ketahanan aus permukaan mutu agregat, kekuatan beton pengembangan agregat (pengaruh dr dalam), beton pecah
Air pH Bahan padat, maks. Bahan tersuspensi, maks Bahan organik, maks. Minyak, maks. Ion sulfat, maks. Ion klorida, Maks.	4.5 - 8.5 2000 ppm 2000 ppm 2000 ppm 2 % thd berat semen 10000 ppm 20000 ppm		perubahan sifat semen, hidrasi, kekuatan pengikatan, mengurangi kekuatan pengikatan, mengurangi kekuatan pengikatan, mengurangi kekuatan pengikatan, mengurangi kekuatan pengikatan, mengurangi kekuatan & durability, korosi pengikatan, mengurangi kekuatan & durability, korosi
Adukan beton segar Keseragaman campuran Suhu beton, maks. Konsistensi (slump), min. maks.	seragam & homogen ditetapkan ditetapkan ditetapkan		kekuatan beton beton basah sudah setting, kekuatan,durability workability, mutu beton segar, mutu beton keras

3. Kesalahan rancangan campuran (mix design) beton

Jika dalam perencanaan ditentukan mutu beton K atau fc' yang nilainya tertentu, haruslah dipahami bahwa nilai tersebut adalah nilai minimum karakteristik rencana yang diharapkan tercapai dalam pelaksanaan di lapangan. Sedangkan dalam perancangan di laboratorium dimana kondisinya dianggap ideal, target kekuatan di laboratorium harus lebih besar nilainya dari rencana. Kondisi tersebut bisa digambarkan sebagai berikut.

Jika fc_r' adalah kekuatan yang ditargetkan di laboratorium, maka

$$fc_r' \geq fc' + M$$

dengan pengertian

$$M \text{ adalah margin} = k \cdot Sr$$

Untuk gagal/cacat kekuatan yang diizinkan maksimum 5% atau derajat kepercayaan 95%, nilai k (angka statistik) = 1,64 sedangkan Sr (deviasi standar rencana nilainya diambil sesuai dengan prediksi mutu pelaksanaan di lapangan).

Nilai Sr diambil berdasarkan pengalaman dari pekerjaan sebelumnya yang serupa dengan pekerjaan yang akan dilaksanakan, paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji berurutan yang jumlahnya minimum 30 hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari. Bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar tidak tersedia, maka bisa diambil dari tabel.

Tabel 2 - Deviasi standar

Volume Pekerjaan		Deviasi standar, Sr (Mpa)		
Sebutan	Volume Beton (m^3)	Baik Sekali	Baik	Dapat diterima
Kecil	<1000	$4,5 < Sr < 5,5$	$5,5 < Sr < 6,5$	$6,6 < Sr < 8,5$
Sedang	1000 – 3000	$3,5 < Sr < 4,5$	$4,5 < Sr < 5,5$	$6,5 < Sr < 7,5$
Besar	>3000	$2,5 < Sr < 3,5$	$3,5 < Sr < 4,5$	$4,5 < Sr < 6,5$

Contoh :

Mutu rencana $fc' = 25$ MPa, volume beton sedang, pelaksanaan pekerjaan baik $\rightarrow$ Deviasi rencana, Sr bisa diambil antar 4,5 - 5,5 MPa $\rightarrow$ Ambil $Sr = 5$ MPa.

$$\text{Jadi } fc_r' = 25 + (1,64 \times 5) = 33,2 \text{ MPa}$$

Jika melihat hubungan fc' dengan fc_r' seperti itu, maka nilai margin (M) yang diberikan berarti juga nilai angka keamanan (*safety factor*) dalam perancangan campuran.

Kemungkinan kesalahan :

- 1) Pengambilan nilai Sr tidak tepat; jika terlalu kecil berarti hasil perancangan kurang aman, tapi sebaliknya jika terlalu besar berarti kurang/tidak ekonomis.
- 2) Untuk menyatakan bahwa perancangan campuran sudah benar, nilai kekuatan beton yang diperoleh dari hasil uji coba campuran (*trial mix*) di laboratorium dibandingkan dengan mutu rencana (fc'), seharusnya dibandingkan dengan fc_r'

Kesalahan lain yang mungkin terjadi dalam tahap rancangan campuran adalah tidak dipahaminya perbedaan karakter kekuatan antara benda uji silinder dengan benda uji kubus. Sebagai contoh masih banyak yang menganggap mutu beton $fc' = 30$ MPa adalah sama dengan K300 sehingga kebutuhan $fc' = 30$ MPa tersebut kemudian dirancang dengan K300. Bila hal seperti ini terjadi, berarti mutu beton yang dirancang untuk produksi lebih kecil kekuatannya dari yang direncanakan karena mutu K300 < $fc' = 30$ MPa. Untuk menghindari kesalahan seperti itu, para perancang campuran dan juga pelaksana beton harus memahami

nilai-nilai konversi kekuatan untuk benda-benda uji yang berbeda yang umumnya dianggap sebagai berikut.

- Benda uji kubus 150x150x150 mm³ : 1
- Benda uji silinder ϕ 150-300 mm³ : 0,83
- Benda uji kubus 200x200x200 mm³ : 0,95

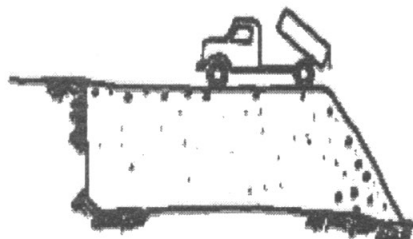
Dengan adanya nilai konversi tersebut, jika 1 MPa dianggap sama dengan 10 kg/cm², maka mutu beton f_c =30 MPa akan setara dengan mutu K(300/0,83) ~ K360.

Kemudian jika formula hasil rancangan di laboratorium (*DMF, Design Mix Formula*) dianggap sebagai *JMF (Job Mix Formula)*, juga merupakan suatu kesalahan, karena *JMF* seharusnya diperoleh dari hasil uji coba campuran di lapangan berdasarkan komposisi dari *DMF* dengan menggunakan instalasi, situasi dan kondisi lapangan. Dengan demikian *JMF* bisa sama dengan *DMF* atau berbeda, bergantung pada ada/tidak ada penyesuaian dari hasil uji coba di lapangan.

4. Kesalahan penanganan material

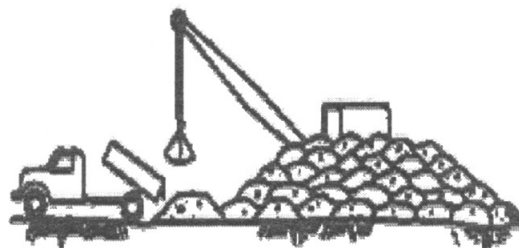
4.1 Kesalahan penanganan agregat

Agregat halus dan agregat kasar adalah bahan berbutir yang terdiri beberapa ukuran butir dan kondisinya lepas. Kesalahan dalam penanganan agregat dapat mengakibatkan terjadinya perubahan mutu dan kondisi agregat dari yang seharusnya.



SALAH

Gambar 1 - Material yang turun dari truk menggelinding pada lereng untuk sampai ke bawah sehingga terjadi segregasi. Truk beroperasi berulang-ulang di atas tumpukan material yang sudah ada.

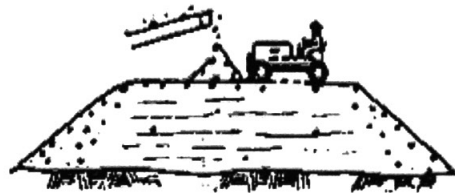


Gambar 2 - Kapasitas crane tidak boleh melebihi kapasitas muat truk. Tumpukan material dibuat sedemikian sehingga tidak terjadi material menggelinding pada lereng



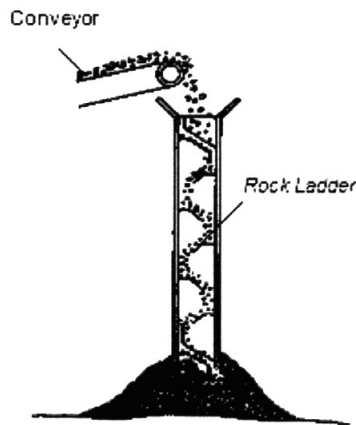
SALAH

Gambar 3 - Penumpukan lapisan-lapisan material oleh bulldozer dengan kelandaian lereng lebih dari 3:1, kecuali untuk material tertentu yang memungkinkan kelandaian lebih dari 3:1

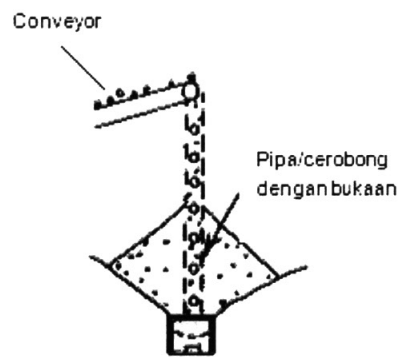


BENAR

Gambar 4 - Tumpukan dibuat secara melingkar dalam lapis-lapis horizontal oleh bulldozer yang bekerja dari material yang dijatuhkan dari ban berjalan (conveyor belt).



BENAR

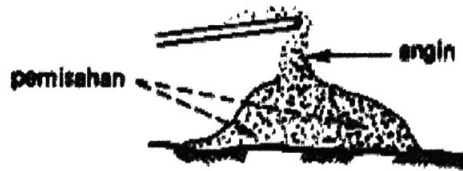


BENAR

Gambar 5 - Penggunaan Rock Leader dan Pipa

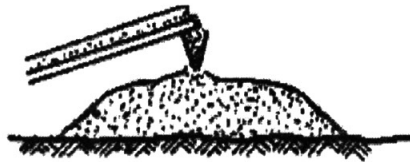
Penggunaan *rock ladder* (tangga batuan) untuk penumpukan agregat kasar dengan ukuran besar dari conveyor yang mempunyai ketinggian tertentu, dapat meminimalkan kerusakan

Penggunaan pipa/cerobong dengan bukaan untuk mencegah terpisahnya material halus dan material kasar oleh angin. Tumpukan material tersusun sesuai dengan elevasi bukaan



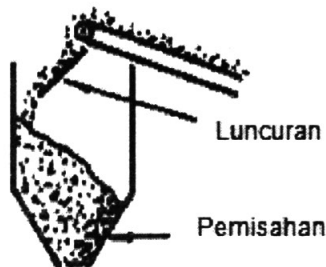
SALAH

Gambar 6 - Bahan yang dijatuhkan bebas dari ujung penimbun memberi kesempatan pada angin untuk memisahkan butiran halus dari bahan-bahan kasar



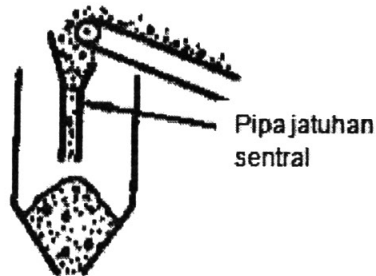
BENAR

Gambar 7 - Gunakan ban berjalan yang dapat dipindah-pindah serta dilengkapi kerucut berdinding curam dengan tinggi jatuhnya bahan serendah mungkin.



SALAH

Gambar 8 - Mengisikan bahan dengan cara dimiringkan sehingga agregat mengalir melalui bidang curam tetapi tidak langsung di atas lubang pengeluaran kotak, biasanya menghasilkan tumpukan agregat yang kurang seragam



BENAR

Gambar 9 - Dengan mengisi bahan secara vertikal ke dalam kotak langsung di atas lubang pengeluaran menghasilkan pengeluaran bahan yang biasanya lebih seragam



SALAH

Gambar 10 - Penimbunan dengan cara membentuk gunung seperti ini dapat menjadikan pemisahan butiran kasar pada bagian lerengnya



BENAR

Gambar 11 - Material ditumpuk sendiri-sendiri secara berlapis, tidak terjadi kemungkinan turunnya material ke bawah

Berikut ini adalah beberapa rekomendasi untuk penanganan agregat.

- 1) Segregasi dalam agregat kasar dapat dikurangi jika agregat dipisahkan dalam ukuran-ukuran tersendiri.
- 2) Partikel-partikel yang lebih kecil dari batas yang ditentukan untuk masing-masing ukuran harus dijaga semimumimum mungkin.
- 3) Penumpukan agregat harus dibuat dalam lapis-lapis horizontal atau dengan sudut yang lebih landai.

- 4) Kendaraan-kendaraan seperti truk atau bulldozer tidak boleh dibiarkan lama berada di atas tumpukan agregat.
- 5) Harus dilakukan pemeriksaan secara efektif pada tumpukan agregat di *batch plant* terhadap kemungkinan adanya segregasi.
- 6) Pencampuran dua atau lebih agregat halus dengan ukuran yang berbeda harus dengan cara yang menghasilkan campuran agregat yang baik.
- 7) Agregat halus yang basah harus diusahakan dengan cara pengeringan sampai diperoleh kondisi jenuh kering permukaan (SSD).

4.2 Kesalahan penanganan semen

Semen adalah bahan yang mudah berubah kondisinya karena pengaruh waktu, cara penyimpanan, dan kondisi tempat dimana semen disimpan. Kesalahan yang umum terjadi adalah :

- 1) Semen disimpan di tempat yang lembab
- 2) Jarak penempatan semen dari lantai tembok/tanah atau dinding tembok terlalu dekat
- 3) Tumpukan zak semen lebih dari 10 zak
- 4) Jarak antar tumpukan menimbulkan perputaran udara
- 5) Lama penyimpanan semen lebih dari 2 bulan
- 6) Penggunaan semen yang masih panas

4.3 Kesalahan penanganan air

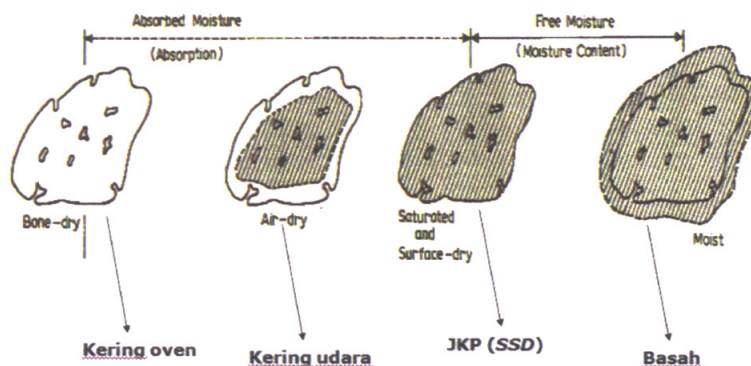
Air campuran beton bisa bermasalah yang disebabkan oleh kesalahan penempatan wadah/tanki air yang tidak terlindung dari panas matahari atau tidak terjaga dari kemungkinan terkontaminasi oleh minyak, garam, asam, lanau, lumpur, atau bahan lain yang dapat membahayakan.

4.4 Kesalahan penanganan bahan tambah (admixture)

Bahan tambah (admixture) campuran beton merupakan bahan kimia yang sifat-sifatnya bisa berubah karena kesalahan tempat penyimpanan atau waktu penyimpanan yang terlalu lama, sehingga memungkinkan fungsi dan atau efektifitasnya tidak terpenuhi, bahkan bisa merusak beton.

5. Kesalahan penakaran bahan

Proporsi bahan campuran hasil rancangan campuran diperoleh dari suatu basis kondisi agregat tertentu. Metode SNI (identik dengan metode DOE) menggunakan basis agregat SSD (*Saturated Surface Dry*). Metode ACI menggunakan basis agregat kering oven (*oven dry*).



Gambar 12 - Tipikal kondisi agregat

Jumlah air yang diperlukan disebut air bebas (*free water*) yang sebagian diperlukan untuk hidrasi dan sebagian lagi untuk pencapaian workabilitas (nilai slump). Oleh karena itu kalau kondisi agregat saat pelaksanaan tidak sama dengan basis agregat pada perancangan, tentu harus ada koreksi penakaran bahan, utamanya untuk menjaga air bebas.

Kemungkinan kesalahan :

- 1) Agregat tidak sama dengan kondisi basis pada perancangan, tapi produksi beton menggunakan rekomendasi proporsi hasil rancangan dari laboratorium tanpa melakukan koreksi terlebih dahulu.
- 2) Produksi beton dilaksanakan seperti tersebut di atas (tanpa koreksi penakaran), sedangkan untuk mencapai nilai slump dilakukan dengan cara mengatur air secukupnya saat pencampuran untuk mencapai kemudahan pengerjaan.

Dengan kesalahan seperti itu bisa dikatakan bahwa pelaksanaan produksi beton dilakukan tanpa rancangan campuran, dan tentu saja hasil akhirnya tidak bisa diperkirakan.

Berikut ini adalah cara perhitungan koreksi takaran bahan campuran sebelum pelaksanaan.

1) Koreksi proporsi campuran rancangan metode SNI :

Jika dengan kondisi agregat SSD diperoleh proporsi,

- B_1 = berat semen/ m^3
 B_2 = berat air/ m^3
 B_3 = berat agregat halus/ m^3 , SSD
 B_4 = berat agregat kasar/ m^3 , SSD
 C_m = kadar air agregat halus (%)
 C_a = resapan agregat halus (%)
 D_m = kadar air agregat kasar (%)
 D_a = resapan agregat kasar (%)

Proporsi campuran yang disesuaikan adalah :

- Semen, tetap = B_1
 Air = $B_2 - (C_m - C_a) \times B_3/100 - (D_m - D_a) \times B_4/100$
 Agregat halus = $B_3 + (C_m - C_a) \times B_3/100$
 Agregat kasar = $B_4 + (D_m - D_a) \times B_4/100$

Contoh :

Jika hasil rancangan campuran dengan basis agregat SSD diperoleh,

- Semen = 348,2 kg
 Air = 195 kg
 Agregat halus = 847,23 kg
 Agregat kasar = 994,57 kg

dan jika :

- Resapan agregat halus = 3,15%
- Resapan agregat kasar = 1,65%
- Kadar air agregat halus = 6%
- Kadar air agregat kasar = 1,5%

maka koreksi penakaran,

- Semen tetap = 348,2 kg
 Air = $195 - (6 - 3,15) \times 847,23/100 - (1,5 - 1,65) \times 994,57/100$
 $= 195 - 24,15 + 1,49 = 172,34$ lt
 Agregat halus = $847,23 + (6 - 3,15) \times 847,23/100$
 $= 847,23 + 24,15 = 871,38$ kg
 Agregat kasar = $994,57 + (1,5 - 1,65) \times 994,57$
 $= 994,57 - 1,49 = 993,08$ kg

Kesalahan lain yang sering terjadi berkaitan dengan penakaran bahan adalah masih dilakukannya penakaran dengan cara volume untuk mutu beton $f_c' \geq 20$ MPa ($\geq$ K250)

sehingga beresiko terhadap terjadinya kegagalan mutu disebabkan oleh kurang telitnya penakaran bahan.

2) Koreksi proporsi campuran rancangan metode ACI :

Jika dengan kondisi agregat kering diperoleh proporsi,

- G_1 = berat semen/ m^3
- G_2 = berat air/ m^3
- G_3 = berat agregat halus/ m^3 , kering
- G_4 = berat agregat kasar/ m^3 , kering
- C_m = kadar air agregat halus (%)
- C_a = resapan agregat halus (%)
- D_m = kadar air agregat kasar (%)
- D_a = resapan agregat kasar (%)

Proporsi campuran yang disesuaikan adalah :

- Semen, tetap = G_1
- Air = $G_2 - (C_m - C_a) G_3/100 - (D_m - D_a) \times G_4/100$
- Agregat halus = $G_3 + (C_m \times G_3)/100$
- Agregat kasar = $G_4 + (D_m \times G_4)/100$

Contoh :

Jika hasil rancangan campuran dengan basis agregat kering diperoleh,

- Semen = 385 kg
- Air = 181 liter
- Agregat halus = 634,68 kg
- Agregat kasar = 1137,42 kg

dan jika :

- Resapan agregat halus = 2%
- Resapan agregat kasar = 3,4%
- Kadar air agregat halus = 6%
- Kadar air agregat kasar = 2%

maka koreksi penakaran,

- Semen tetap = 385 kg
- Agregat halus = $634,68 + 0,06(634,68) = 672,76$ kg
- Agregat kasar = $1137,42 + 0,02(1137,42) = 1160,17$ kg
- Air = $181 - (0,06 - 0,02)634,68 - (0,02 - 0,034)1137,42 = 171,54$ liter

6. Kesalahan pencampuran (mixing)

Tujuan pencampuran material bahan beton adalah untuk menghasilkan adukan beton basah yang homogen. Tidak diperolehnya adukan yang homogen dari proses pencampuran dimungkinkan oleh faktor-faktor kondisi dan kapasitas alat, kecepatan putar, waktu pencampuran (mixing time), dan urutan masuknya bahan ke dalam *mixer*. Secara umum dikatakan lama waktu pencampuran 1 – 1½, namun demikian lama waktu pencampuran yang paling tepat adalah saat adukan sudah menunjukkan sifat homogen yang diperoleh dari kondisi alat yang ada.

7. Kesalahan pengangkutan adukan beton

Dalam hal pengecoran beton dilakukan secara manual di lokasi, dan karena terbatasnya ruang untuk menempatkan mesin pencampur dekat dengan bagian yang harus dicor sehingga harus ada jarak untuk mengangkut adukan beton segar yang keluar dari alat pencampur sampai ke titik yang harus dicor tersebut, adukan beton bisa segregasi atau

mengalami kehilangan slump yang disebabkan oleh kesalahan jenis alat dan cara mengangkutnya.



Gambar 13 - Mengangkut adukan beton di lokasi pengecoran

Adapun dengan produksi adukan beton sistem siap pakai (ready mix) yang mampu mengangkut adukan beton dalam jarak yang jauh dan waktu tempuh lama, kesalahan yang umum terjadi adalah produsen beton siap campur tidak memperhitungkan kemungkinan terburuk yaitu adukan beton sudah mengalami pengikatan sebelum sampai ke lokasi pengecoran.



Gambar 14 - Adukan beton diangkut ke lokasi pengecoran dengan truck mixer

8. Kesalahan pengecoran

8.1 Kesalahan menambah air pada adukan beton yang sudah jadi

Kesalahan ini adalah yang paling umum dilakukan, yaitu menambahkan air campuran pada adukan beton yang dianggap tingkat konsistensinya sulit untuk dikerjakan, tanpa mencari tahu terlebih dahulu penyebab terjadinya permasalahan dan tanpa mempertimbangkan efek negatifnya terhadap aspek mutu kekuatan dan durabilitas di kemudian hari.

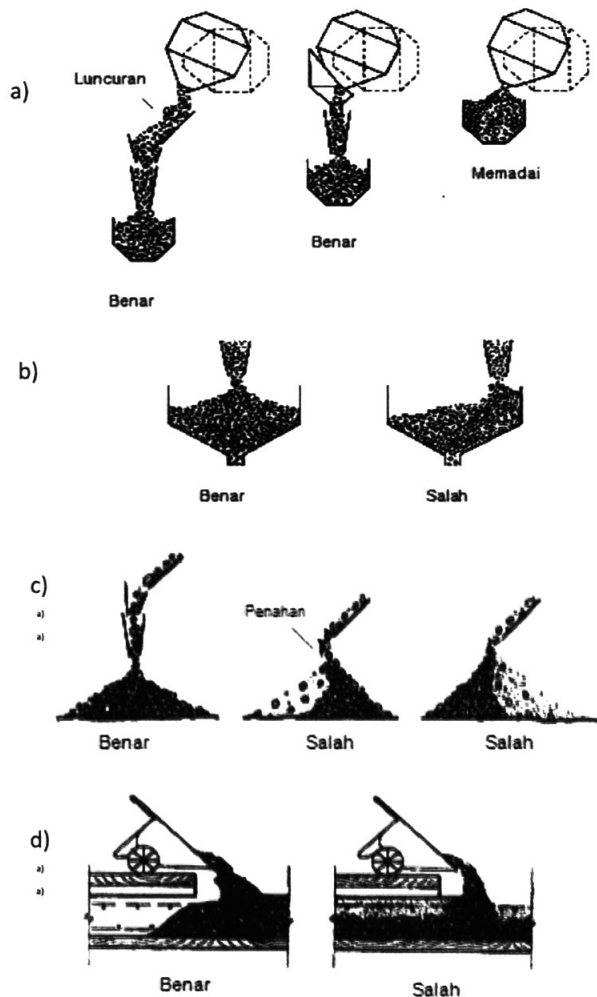
Dalam hal ini harus dipahami bahwa kriteria mutu teknis beton minimal harus memenuhi 3 aspek; workabilitas, kekuatan, dan durabilitas. Sehingga ketika menambahkan air pada adukan beton yang sudah jadi yang kemudian mengubah faktor air-semen menjadi lebih besar, maka akan beresiko terhadap gagalnya mutu kekuatan dan juga durabilitas, karena

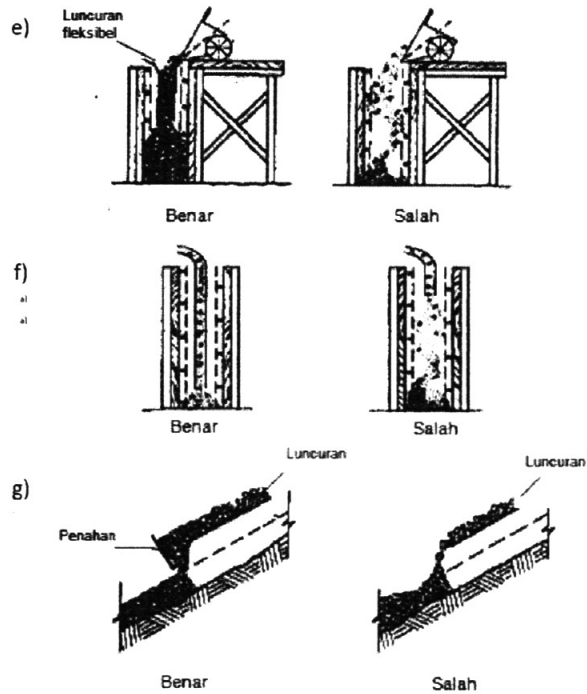
kekuatan beton sangat bergantung pada nilai faktor air-semen tertentu, sedangkan pembatasan faktor air-semen maksimum menentukan durabilitas beton.

8.2 Kesalahan cara pengecoran

Sering terjadi, adukan beton yang sudah memenuhi syarat homogenitas saat keluar dari mixer tapi kemudian berubah menjadi segregasi (terjadi pemisahan butiran kasar dari mortar) setelah berada di bagian-bagian dimana adukan beton dicor. Hal itu dimungkinkan oleh kesalahan-kesalahan sebagai berikut.

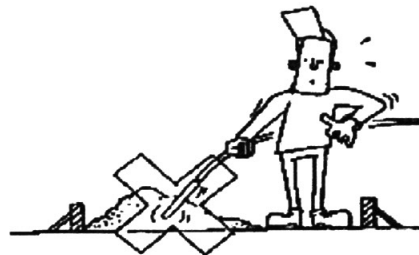
- 1) Cara menempatkan adukan beton yang tidak benar dan tinggi jatuh pengecoran lebih dari 1,5 m terutama untuk adukan beton dengan slump yang besar. Bila hal ini dilakukan, maka adukan beton akan mengalami segregasi.





Gambar 15 - Cara-cara menempatkan adukan beton

- 2) Menempatkan adukan beton dalam satu tumpukan kemudian menyebarkannya/meratakannya dengan cara didorong oleh vibrator. Bila hal ini dilakukan, maka adukan beton akan mengalami segregasi.



Gambar 16 - Kesalahan menyebarkan tumpukan adukan beton dengan vibrator

8.3 Kesalahan adukan beton sudah setting ketika dicorkan

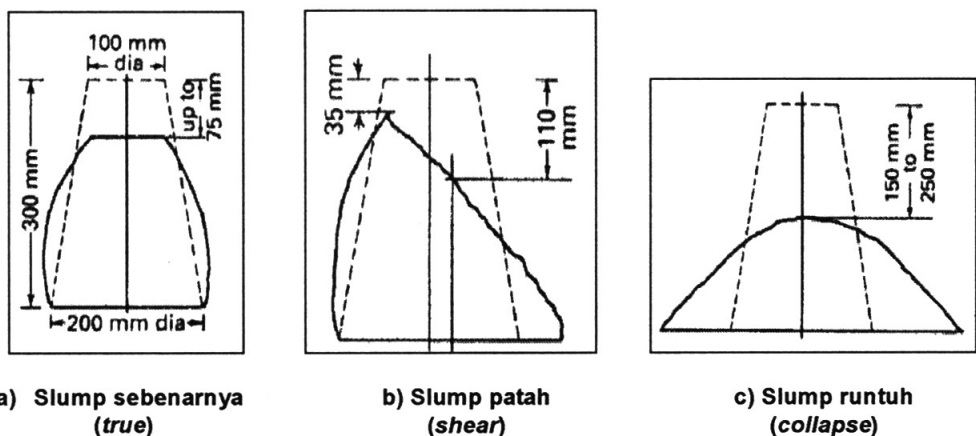
Perubahan kondisi beton dari plastis sampai akhirnya menjadi keras seperti batu disebabkan oleh proses hidrasi semen yang dimulai dengan terjadi pengikatan awal (*initial setting*) yaitu saat mulainya terjadi reaksi kimiawi antara semen dengan air. Pencapaian hasil akhir setelah beton mengeras sangat dipengaruhi oleh proses hidrasi. Oleh karena itu ketika beton dicorkan padahal kondisinya sudah *setting* merupakan suatu kesalahan besar. Selain dari data hasil pemeriksaan waktu ikat, kondisi beton yang sudah *setting* juga bisa diketahui dari suhu beton yang bersangkutan.

Namun demikian, kegagalan beton yang disebabkan oleh kesalahan seperti ini seharusnya bisa dihindari dengan menggunakan secara benar bahan tambah tipe *retarding* yang memiliki fungsi untuk menunda *setting*. Suatu praktek yang keliru adalah menambahkan salah satu jenis bahan tambah (*admixture*) ke dalam adukan beton untuk mencapai nilai slump padahal adukan betonnya sudah *setting*. Haruslah dipahami bahwa adukan beton yang sudah *setting* tidak bisa diatasi dengan bahan tambah yang mana pun. Dalam hal ini, sangatlah penting bagi pelaksana dan pengawas pekerjaan beton untuk memiliki data hasil pengujian setting semen dan karakteristik bahan tambah *retarding* yang digunakan saat melaksanakan pekerjaan beton.

9. Kesalahan pengujian slump

Dari aspek struktural, beton yang dibutuhkan adalah beton yang setelah mencapai kondisi keras setelah umur tertentu harus memiliki suatu kekuatan minimum yang ditetapkan. Namun ketika beton dikerjakan, penerimaan atau penolakan beton hanya bisa didasarkan pada hasil pemeriksaan adukan beton segar, yaitu homogenitas campuran dan konsistensi adukan beton yang dipastikan belum *setting*.

Dari pengujian slump, kesalahan yang mungkin terjadi adalah apabila penerimaan atau penolakan adukan beton hanya berdasarkan nilai slump yang terjadi tanpa melihat bagaimana bentuknya. Pengawas pekerjaan beton harus memahami ada 3 bentuk slump sebagai berikut.



Gambar 17 - Bentuk-bentuk slump

- Slump sebenarnya menunjukkan adukan yang homogen dan kohesif
- Slump patah menunjukkan adukan yang tidak homogen dan tidak kohesif
- Slump runtuh menunjukkan adukan slumpnya terlalu besar dan cenderung menimbulkan segregasi saat dicor dan dipadatkan, kecuali jika slump seperti itu diperoleh dengan penggunaan *plasticiser*.

Catatan :

- Nilai slump yang diukur hanya boleh dikatakan memenuhi atau tidak jika dibandingkan dengan nilai yang disyaratkan, apabila diperoleh dari slump yang sebenarnya.
- Jika terjadi slump patah, pengujian slump harus diulang lagi secara lebih hati-hati dengan menggunakan adukan yang baru. Bila dari pengulangan tersebut diperoleh bentuk slump sebenarnya kemudian dapat dilanjutkan dengan mengukur nilai slump. Tapi apabila hasilnya tetap menunjukkan slump patah, maka adukan beton tersebut harus ditolak karena tidak memenuhi syarat mutu basah.
- Lihat SNI 1972 : Metode pengujian slump beton

10. Kesalahan pembuatan benda uji

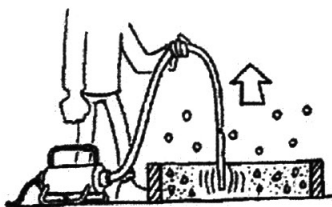
Kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi :

- Bentuk dan ukuran cetakan tidak presisi
- Sampel adukan yang digunakan tidak mewakili
- Cara pembuatan benda uji tidak sesuai standar
- Terjadi gangguan pada benda uji sebelum mencapai kondisi stabil, terutama ketika terjadi proses pengikatan
- Kurang perawatan

Apabila kondisi seperti itu terjadi, maka hasil evaluasi mutu beton tidak mencerminkan hasil yang sesungguhnya.

11. Kesalahan pemadatan beton segar

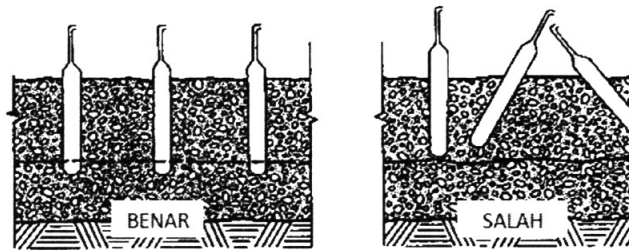
Kekuatan beton setelah mengeras juga dipengaruhi oleh pencapaian derajat kepadatan beton segar ketika dipadatkan. Tujuan pemadatan beton segar adalah menghilangkan / meminimalkan rongga-rongga udara dalam beton segar yang umumnya dilakukan dengan cara penggetaran namun dengan tetap menjaga kondisi homogenitas.



Gambar 18 - Proses pemadatan adukan beton dengan alat vibrator

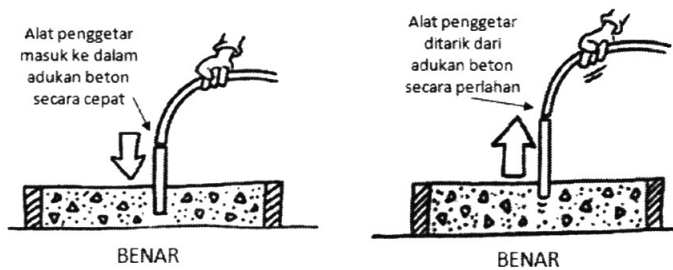
Kesalahan-kesalahan yang umum terjadi :

- Alat pemadat tidak memadai baik dari segi jumlah ataupun kondisi
- Terlalu singkat atau terlalu lama penggetaran. Penggetaran yang terlalu singkat tidak akan menghasilkan kepadatan yang maksimal, sedangkan bila terlalu lama akan berakibat pada terjadinya segregasi.
- Cara penggetaran tidak benar



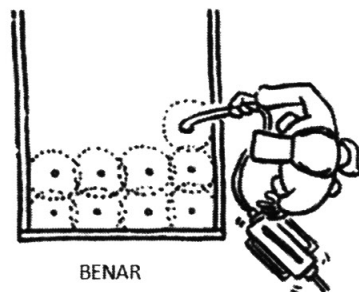
Gambar 19 - Posisi vibrator ketika digunakan

Sebaik-baik penggunaan vibrator adalah dengan posisi vertikal untuk mencegah terjadinya segregasi. Sebaliknya vibrator dengan posisi miring akan berakibat pada segregasi. Tebalnya penghamparan adukan beton harus sesuai dengan kapasitas alat penggetar yang digunakan sehingga apabila pengecoran dilakukan lebih dari satu lapis hamparan akan memudahkan untuk mendapatkan kesatuan antara lapis-lapis yang dicor.



Gambar 20 - Timing memasukkan dan mengeluarkan vibrator

Cara yang salah adalah jika vibrator dimasukkan ke dalam adukan beton secara perlahan-lahan, maka akan terjadi segregasi pada beton di bagian bawah ujung vibrator. Cara yang salah juga adalah jika vibrator ditarik dari adukan beton secara cepat, maka akan terjadi beton yang kurang padat di tempat tersebut.



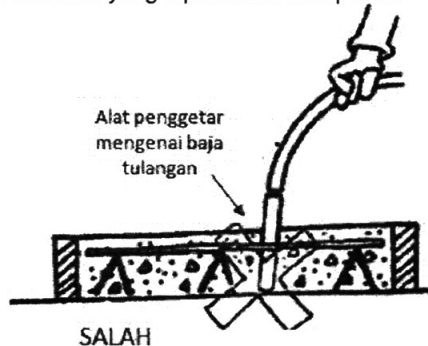
Gambar 21 - Pengaturan jarak pindah vibrator

Pemindahan vibrator dari satu titik ke titik yang lain dengan jarak yang terlalu dekat akan mengakibatkan adanya bagian adukan yang terlalu banyak digetarkan (over vibration)

sehingga timbul segregasi, sedangkan jika jarak pindahnya terlalu jauh akan terdapat bagian-bagian yang kepadatannya tidak maksimal.

Sebagai pegangan praktis, penggetaran adukan beton harus dihentikan apabila permukaan beton sudah kelihatan mengkilap yang menandakan adukan tersebut sudah mencapai kepadatan yang maksimal.

Hasil pemadatan yang tidak memuaskan akan diperoleh dari penggunaan jumlah vibrator yang sedikit untuk luas permukaan yang dipadatkan cukup luas.



Gambar 22 - Vibrator mengenai tulangan

Alat penggetar yang mengenai baja tulangan dapat menggeser posisi tulangan dari tempat yang sudah direncanakan, disamping juga dapat mengurangi ikatan (bonding) antara beton dengan baja tulangan, terutama apabila hal seperti itu dilakukan setelah terjadi setting pada beton.

12. Kesalahan perawatan beton

Masih banyak yang beranggapan bahwa pekerjaan pengecoran beton sudah selesai seluruhnya ketika pemadatan beton dan *finishing*nya sudah dikerjakan. Yang sesungguhnya tidaklah demikian. Setelah *finishing* permukaan, beton harus segera dirawat sampai beton telah mencapai suatu kekuatan minimum yang ditetapkan.

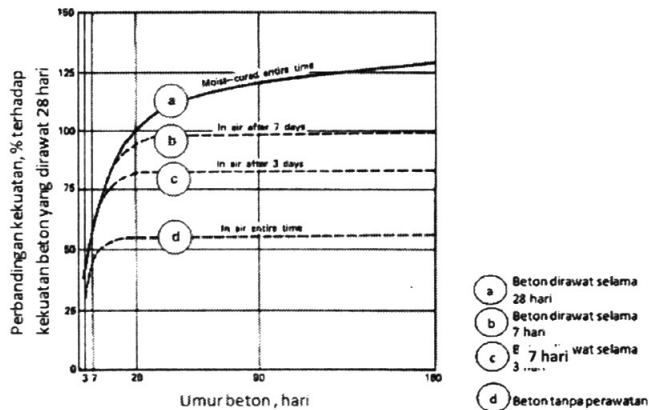
Perawatan beton (*curing*) adalah suatu proses untuk menjaga tingkat kelembaban dan temperatur ideal untuk mencegah hidrasi yang berlebihan serta menjaga agar hidrasi terjadi secara berkelanjutan. *Curing* secara umum dipahami sebagai perawatan beton, yang bertujuan untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air, atau sebagai tindakan menjaga kelembaban dan suhu beton, segera setelah proses *finishing* beton selesai dan waktu total setting tercapai.

Beton segar harus sudah selesai dipadatkan sebelum terjadi pengikatan awal atau sebelum terjadi reaksi antara semen dengan air. Dengan demikian reaksi air dengan semen baru akan terjadi setelah pemadatan dan *finishing*. Pada dasarnya pekerjaan perawatan beton secara benar adalah untuk menjaga proses hidrasi secara baik. Apabila perawatan beton bisa dilakukan sesegera mungkin sebelum terjadi pengikatan dan bisa dijaga dalam durasi waktu yang lebih lama, hal itu adalah sebaik-baiknya perawatan beton yang akan menghasilkan beton dengan mutu maksimal dalam beberapa hal seperti :

- mutu/kekuatan beton (strength)

- keawetan struktur beton (durability)
- kedap air beton (water-tightness)
- ketahanan permukaan beton, misal terhadap keausan (wear resistance)
- kestabilan volume, yang berhubungan dengan susut atau pengembangan (volume stability : shrinkage and expansion).

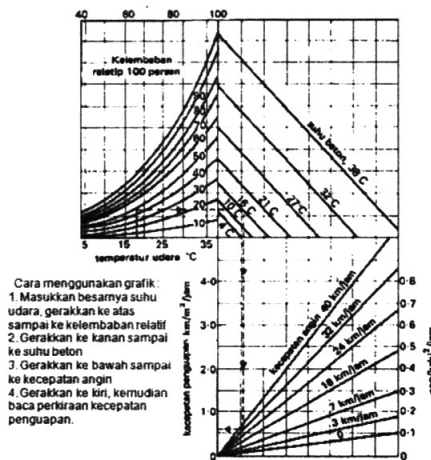
Seberapa besar pengaruh perawatan terhadap mutu beton dapat dilihat seperti berikut.



Gambar 23- Pengaruh perawatan terhadap mutu beton

13. Kesalahan pengecoran dalam cuaca panas

Jika pengecoran beton dilakukan dalam cuaca panas, masalah yang akan muncul adalah besarnya kehilangan slump (slump loss) secara cepat disebabkan oleh cepatnya laju penguapan air. Kondisi seperti itu biasanya mendorong pelaksana untuk menambahkan air campuran agar beton tetap mudah dikerjakan, tanpa memikirkan akibatnya terhadap mutu beton keras. Pelaksana harus memahami faktor-faktor yang berpengaruh terhadap laju penguapan air dalam adukan beton.



Gambar 24 - Laju penguapan air dalam adukan beton

Terlihat bahwa laju penguapan air dalam campuran beton dipengaruhi oleh faktor-faktor temperatur udara, kelembaban udara, suhu beton, dan kecepatan angin di lokasi pengecoran. Dari keempat faktor tersebut, suhu beton merupakan faktor yang memberi kontribusi terbesar pada laju penguapan air, dan dari keempat faktor tersebut, hanya suhu beton yang mungkin dikendalikan oleh pelaksana dibandingkan dengan faktor-faktor lainnya.

Suhu beton sendiri dipengaruhi oleh 3 faktor yaitu suhu agregat, suhu air, dan panas hidrasi semen. Suhu beton yang terjadi akibat ketiga faktor tersebut, hampir 60% berasal dari suhu agregat.

Jika laju penguapan sudah lebih besar dari 1,0 kg/m²/jam pengecoran tidak boleh dilakukan. Namun demikian laju penguapan bisa dijaga tidak melampaui nilai tersebut apabila mampu melakukan hal-hal sebagai berikut :

- 1) timbunan persediaan agregat dilindungi dari sinar matahari;
- 2) agregat disiram air secara periodik;
- 3) air campuran dijaga sedingin mungkin dengan cara menyimpannya di dalam tangki yang terlindung dari sinar matahari atau dicat putih;
- 4) pada daerah yang sangat panas, mungkin perlu penambahan es pada air campuran;
- 5) penggunaan semen yang panas sedapat mungkin dihindari;

14. Kesalahan pada pekerjaan beton siap pakai

Pada dasarnya semua tahapan yang harus dilakukan dalam memproduksi beton *site mix*, juga berlaku untuk beton yang dibuat dengan sistem *ready-mix concrete*, sehingga kesalahan-kesalahan yang biasa ditemukan dalam beton *site mix*, juga bisa terjadi dalam konteks beton siap pakai. Dalam hal ini harus mengangkut adukan beton dengan waktu tempuh yang cukup lama dari *batching plant* ke lokasi pengecoran, kesalahan yang umum terjadi adalah produsen beton siap campur tidak mengantisipasi kemungkinan terburuk sudah terjadi *setting* beton atau kehilangan slump sebelum dicorkan sehingga akhirnya harus melakukan tindakan "menyelamatkan" adukan beton tanpa memikirkan akibatnya terhadap mutu beton setelah keras. Oleh karena itu agar bisa menjaga mutu adukan beton siap pakai saat pengangkutan sampai ke lokasi pengecoran, perlu dipahami hal-hal sebagai berikut. Pencampuran beton siap pakai dapat dilakukan dalam 3 cara :

- 1) **Cara *central-mixed concrete***; adukan beton diselesaikan pencampurannya dalam *central mixer* di *batching plant* kemudian diangkut ke lokasi menggunakan *truck mixer* dengan putaran drum yang rendah. Saat tiba di lokasi, drum diputar dengan kecepatan pencampuran untuk memperoleh adukan yang memenuhi syarat mutu beton segar sebelum dicorkan. Cara pencampuran seperti ini adalah yang umum dilakukan tetapi beresiko terhadap terjadinya pengikatan sebelum beton dicorkan di lokasi apabila terjadi masalah keterlambatan dalam pengangkutan.
- 2) **Cara *transit-mixed* atau *truck-mixed concrete***; material bahan campuran beton tidak termasuk air, seluruhnya dimasukkan ke dalam *truck mixer* di pusat pencampuran, sedangkan air campuran dimasukkan ke dalam *truck mixer* saat dalam pengangkutan atau setelah tiba di lokasi. Cara seperti ini adalah yang paling aman untuk waktu pengangkutan yang lebih lama tetapi kapasitas beton yang bisa diangkut berkurang.
- 3) **Cara *shrink-mixed concrete***; material semen, agregat, dan sebagian air dicampurkan dalam *truck mixer* di *batching plant*. Pencampuran dengan menambahkan sebagian air sisanya diselesaikan di lokasi pekerjaan. Cara seperti ini diharapkan bisa lebih

aman terhadap kemungkinan timbulnya masalah akibat waktu perjalanan yang lama dengan kapasitas angkut yang lebih besar dibandingkan dengan kapasitas angkut *transit-mixed*.

Untuk menghindari kemungkinan terjadinya resiko kegagalan beton siap pakai, terutama untuk sistem *central mixed*, dapat dilakukan antisipasi sebagai berikut :

1. Gunakan bahan tambah jenis *retarder* saat pencampuran di *batching plant*.
2. Membawa bahan tambah cadangan jenis *retarder* dan jenis *plasticizer* atau *superplasticizer* pada *truck mixer* saat mengangkut beton segar ke lokasi tujuan. Jika terjadi kondisi darurat sebelum sampai ke lokasi yang dituju dengan perkiraan *retarder* yang ditambahkan di *batching plant* sudah berakhir pengaruhnya dalam menunda pengikatan, *retarder* cadangan dapat digunakan. *Plasticizer* atau *superplasticizer* digunakan untuk mendapatkan konsistensi (nilai *slump* atau nilai *flow*) di lokasi pengecoran apabila sudah terjadi kehilangan *slump* tetapi belum terjadi pengikatan, tanpa harus menambahkan air campuran.

15. Kesalahan pengambilan benda uji

Benda uji beton harus diambil sedemikian sehingga ketika dievaluasi nilai-nilai kekuatan yang diperoleh dari hasil pengujian dapat dikatakan mewakili mutu kekuatan beton yang dilaksanakan. Kesalahan yang umum terjadi adalah apabila nilai kekuatan dari satu benda uji dianggap mewakili satu batching atau bahkan beberapa batching yang volumenya cukup besar. Misal : Jika dalam 3 m³ produksi beton secara manual dengan kapasitas alat pengaduk 1 zak semen hanya diambil 1 benda uji untuk mendapatkan 1 nilai kekuatan yang mewakili, atau diambil 1 nilai yang mewakili dari 1 benda uji untuk 5 m³ produksi beton ready mix, tentu saja pantas diragukan mengingat sangat kecilnya volume dalam 1 benda uji dibandingkan dengan jumlah beton yang diwakilinya. Oleh karena itu perlu diketahui dan dipahami cara pengambilan benda uji beton yang dianggap dapat mewakili beton pelaksanaan seperti yang dijelaskan dalam **Seksi 7.1 – Divisi 7 – Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3**.

Diambil dari Pasal 7.1.6.3) :

Pengujian Kuat Tekan

- a) Penyedia jasa harus mendapatkan sejumlah hasil pengujian kuat tekan benda uji beton dari pekerjaan beton yang dilaksanakan. Setiap hasil adalah nilai rata-rata dari dua nilai kuat tekan benda uji dalam satu set benda uji (1 set = 3 buah benda uji), yang selisih nilai antara keduanya $\leq 5\%$ untuk satu umur, untuk setiap kuat tekan beton dan untuk setiap jenis komponen struktur yang dicor terpisah pada tiap hari pengecoran.
- b) Untuk keperluan pengujian kuat tekan beton, penyedia jasa harus menyediakan benda uji beton berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm atau kubus 150 x 150 x 150 mm, dan harus dirawat sesuai dengan SNI 03-4810-1998. Benda uji tersebut harus dicetak bersamaan dan diambil dari beton yang akan dicor, dan kemudian dirawat sesuai dengan perawatan yang dilakukan di laboratorium.
- c) Untuk keperluan evaluasi mutu beton sebagai dasar pembayaran harus menggunakan data hasil uji kuat tekan beton sesuai dengan umur yang ditetapkan dalam kontrak. Hasil-hasil pengujian pada umur yang selain dari yang ditetapkan dalam kontrak hanya boleh digunakan untuk keperluan selain dari tujuan evaluasi mutu beton sebagai dasar pembayaran. Nilai-nilai perbandingan kekuatan yang digunakan untuk keperluan ini harus disesuaikan dengan grafik perkembangan kuat tekan campuran sebagai fungsi waktu.
- d) Untuk pencampuran secara manual, maka pada pekerjaan beton dengan jumlah masing-masing mutu beton $\leq 60 \text{ m}^3$ harus diperoleh hasil uji untuk setiap maksimum

5 m³ beton dengan minimum satu hasil uji tiap hari. Dalam segala hal jumlah hasil pengujian tidak boleh kurang dari empat hasil untuk masing-masing umur. Apabila pekerjaan beton mencapai jumlah > 60 m³, maka untuk setiap maksimum 10 m³ beton berikutnya setelah jumlah 60 m³ tercapai harus diperoleh satu hasil uji.

- e) Untuk pengecoran hasil produksi *ready mix*, maka pada pekerjaan beton dengan jumlah masing-masing mutu ≤ 60 m³ harus diperoleh satu hasil uji untuk setiap maksimum 15 m³ beton secara acak, dengan minimum satu hasil uji tiap hari. Dalam segala hal jumlah hasil pengujian tidak boleh kurang dari empat. Apabila pekerjaan beton mencapai jumlah > 60 m³, maka untuk setiap maksimum 20 m³ beton berikutnya setelah jumlah 60 m³ tercapai harus diperoleh satu hasil uji.

16. Kesalahan evaluasi mutu

Tujuan evaluasi mutu beton adalah memeriksa mutu beton hasil pelaksanaan kemudian membandingkannya dengan rencana mutu beton yang sudah ditetapkan sebelumnya. Jika f_c' atau σ_{bk} didefinisikan sebagai kuat tekan beton karakteristik rencana (Catatan : **Kekuatan tekan karakteristik adalah kekuatan tekan, dimana dari sejumlah besar hasil hasil pemeriksaan benda uji, kemungkinan adanya kekuatan tekan yang kurang dari itu terbatas sampai% saja**), maka evaluasi data dari hasil pelaksanaan pun harus bersifat karakteristik. Kesalahan bisa terjadi jika nilai rata-rata hitung dari sejumlah nilai kekuatan beton hasil pelaksanaan (f_{cm} atau σ_{bm}) dinyatakan sebagai nilai kekuatan yang sebenarnya (nilai karakteristik) dari beton yang dilaksanakan, kemudian dibandingkan dengan mutu karakteristik rencana (f_c' atau σ_{bk}) dan selanjutnya dijadikan sebagai dasar penerimaan atau penolakan terhadap mutu beton pelaksanaan.

Kesalahan lainnya juga adalah dalam hal penggunaan nilai-nilai konversi kekuatan beton sebelum 28 hari untuk mengestimasi kekuatan pada 28 hari dan kemudian dijadikan dasar penerimaan atau penolakan hasil pekerjaan. Disamping itu, masih banyak yang belum memahami bahwa perkiraan nilai-nilai konversi 0,40; 0,65; 0,88; dan 0,95 untuk masing-masing umur beton 3, 7, 14, dan 14 hari adalah jika digunakan semen OPC tipe I. Tentu saja jika digunakan semen tipe lain seperti semen PCC atau PPC, nilai-nilai tersebut sudah tidak cocok lagi.

Nilai-nilai konversi kekuatan beton yang sesungguhnya, sekalipun untuk semen OPC adalah yang diperoleh dari hasil uji coba campuran.

Dalam kaitan dengan evaluasi mutu beton, Pasal 7.1.6.3.g) Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 menjelaskan sebagai berikut :

Kuat tekan karakteristik beton diperoleh dengan rumus berikut ini :

$$f_{ck} = f_{cm} - k.S \dots\dots\dots(1)$$

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} \text{ Adalah kuat tekan rata-rata } \dots\dots\dots(2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} \text{ Adalah Standar deviasi } \dots\dots\dots(3)$$

f_{ck} = Kuat tekan karakteristik beton
 f_{cm} = Kuat tekan rata-rata beton
 f_{ci} = Nilai hasil pengujian
 n = Jumlah hasil
 S = Standar deviasi
 $k = 1,645$ untuk tingkat keparcayaan 95%

Catatan:

Simbol-simbol f_{ck} , f_{cm} , f_{ci} digunakan untuk benda uji silinder 150 mm – 300 mm sedangkan untuk benda uji kubus 150 x 150 x 150 mm dapat digunakan symbol-simbol σ_{bk} , σ_{bm} , dan σ_l sebagai pengganti f_{ck} , f_{cm} , f_{ci} .

Mutu beton dan mutu pelaksanaan dianggap memenuhi syarat, apabila dipenuhi syarat-syarat berikut:

- 1) Tidak boleh lebih dari 5% ada di antara jumlah minimum (20 atau 30) nilai hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut terjadi kurang dari f_c atau σ_{bk} .
- 2) Apabila setelah selesai pengecoran seluruhnya untuk masing-masing mutu beton dapat terkumpul jumlah minimum benda uji, maka hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut harus memenuhi $f_{ck} \geq f_c$ atau $\sigma_{bk} \geq \sigma_{bk}$.
- 3) Jika benda uji yang terkumpul kurang dari jumlah minimum yang telah ditentukan, maka nilai standar deviasi (S) harus ditingkatkan dengan factor modifikasi yang diberikan dalam Tabel 3

Tabel 3 - Faktor Modifikasi Standar Deviasi

Untuk Jumlah Hasil Uji Minimum 20		Untuk Jumlah Hasil Uji Minimum 30	
Jumlah Hasil Uji	Faktor Modifikasi	Jumlah Hasil Uji	Faktor Modifikasi
-	-	10	1,36
-	-	11	1,31
-	-	12	1,27
-	-	13	1,21
-	-	14	1,18
-	-	15	1,16
-	-	16	1,14
-	-	17	1,12
8	1,37	18	1,12
9	1,29	19	1,11
10	1,23	20	1,09
11	1,19	21	1,08
12	1,15	22	1,07
13	1,12	23	1,06
14	1,10	24	1,05
15	1,07	25	1,04
16	1,06	26	1,03
17	1,04	27	1,02
18	1,03	28	1,02
19	1,01	29	1,01
20	1	30	1

- 4) Apabila setelah selesai pengecoran beton seluruhnya untuk masing-masing mutu beton terdapat jumlah benda uji kurang dari minimum, maka apabila tidak dinilai dengan cara evaluasi menurut dalil-dalil matematika statistik yang lain, tidak boleh satupun nilai rata-rata dari 4 hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut $f_{cm,4}$ terjadi kurang dari $1,15 f_c$. Masing-masing hasil uji tidak boleh kurang dari $0,85 f_c$.

Contoh :

- Jika mutu rencana $f_c' = 15 \text{ MPa}$ ($\sim 150 \text{ kg/cm}^2$), jumlah minimum hasil uji ditentukan 20.

Dari 2 periode pengecoran diperoleh data nilai-nilai kuat tekan silinder dan evaluasi sebagai berikut :

Kasus 1			Kasus 1		
f_{ci}	$ f_{ci} - f_{cm} $	$(f_{ci} - f_{cm})^2$	f_{ci}	$ f_{ci} - f_{cm} $	$(f_{ci} - f_{cm})^2$
200	25,5	650,25	200	20	400
240	14,5	210,25	200	20	400
200	25,5	650,25	240	20	400
200	25,5	650,25	180	40	1600
230	4,5	20,25	160	60	3600
380	154,5	23870,25	280	60	3600
220	5,5	30,25	280	60	3600
290	64,5	4160,25	220	0	0
230	4,5	20,25	240	20	400
220	5,5	30,25	220	0	0
240	14,5	210,25	290	70	4900
140	85,5	7310,25	200	20	400
220	5,5	30,25	220	0	0
200	25,5	650,25	180	40	1600
240	14,5	210,25	230	10	100
200	25,5	650,25	200	20	400
230	4,5	20,25	200	20	400
180	45,5	2070,25	220	0	0
220	5,5	30,25	240	20	400
290	64,5	4160,25	200	20	400
$\Sigma = 4510$		$\Sigma = 45635$	$\Sigma = 4400$		$\Sigma = 22600$

Kasus 1 :

$$\text{Kekuatan rata-rata, } f_{cm} = \frac{4510}{20} = 225,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Standar deviasi, } Sp1 = \sqrt{\frac{45635}{(20-1)}} = 49,00 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{ck} = 225,5 - (1,64 \times 49,00) = 145,13 \text{ kg/cm}^2 < f_c' = 150 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{tidak diterima !}$$

Kasus 2 :

$$\text{Kekuatan rata-rata, } f_{cm} = \frac{4400}{20} = 220 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Standar deviasi, } Sp2 = \sqrt{\frac{22600}{(20-1)}} = 34,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{ck} = 220 - (1,64 \times 34,5) = 163,42 \text{ kg/cm}^2 > f_c' = 150 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{diterima !}$$

- Jika data hasil uji kurang dari 20, misal :

Kasus 1			Kasus 1		
fci	$ fci - fcm $	$(fci - fcm)^2$	fci	$ fci - fcm $	$(fci - fcm)^2$
200	29,3	858,49	200	22,14	480,18
240	10,7	114,49	200	22,14	480,18
200	29,3	858,49	240	17,86	318,98
200	29,3	858,49	180	42,14	1775,78
230	0,7	0,49	160	62,14	3861,38
380	150,7	22710,49	280	57,86	3347,78
220	9,3	86,49	280	57,86	3347,78
290	60,7	3684,49	220	2,14	4,58
230	0,7	0,49	240	17,86	318,98
220	9,3	86,49	220	2,14	4,58
240	10,7	114,49	290	67,86	4604,98
140	89,3	7974,49	200	22,14	480,18
220	9,3	86,49	220	2,14	4,58
200	29,3	858,49	180	42,14	1775,78
$\Sigma = 3210$		$\Sigma = 38292,86$	$\Sigma = 3110$		$\Sigma = 20805,72$

Kasus 1 :

$$\text{Kekuatan rata-rata, } fcm = \frac{3210}{14} = 229,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Standar deviasi, } Sp1 = \sqrt{\frac{38292,86}{(14-1)}} = 54,27 \text{ kg/cm}^2$$

Faktor modifikasi standar deviasi = 1,10

$$fck = 229,3 - 1,64(1,10 \times 54,27) = 131,40 \text{ kg/cm}^2 < f'c = 150 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{tidak diterima !}$$

Kasus 2 :

$$\text{Kekuatan rata-rata, } fcm = \frac{3110}{14} = 222,14 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Standar deviasi, } Sp2 = \sqrt{\frac{20805,72}{(14-1)}} = 40,00 \text{ kg/cm}^2$$

Faktor modifikasi standar deviasi = 1,10

$$fck = 222,14 - 1,64(1,10 \times 40,0) = 149,98 \text{ kg/cm}^2 \approx f'c = 150 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{diterima !}$$

- Jika data hasil uji jumlahnya sedikit

Misal : $f'c = 25 \text{ MPa}$ ($\approx 250 \text{ kg/cm}^2$)

Data hasil uji yang berturutan : 300, 320, 283, 274, 278, 288, 330

Nilai terendah = $274 \text{ kg/cm}^2 > 0,85f'c = 0,85 \times 250 = 212,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{OK}$

$$fcm_{1,4(1)} = \frac{1}{4}(300+320+283+274) = 294,25 \text{ kg/cm}^2 > 1,15f'c = 287,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

$$fcm_{1,4(2)} = \frac{1}{4}(320+283+274+278) = 288,75 \text{ kg/cm}^2 > 1,15f'c = 287,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{OK!}$$

$$fcm_{1,4(3)} = \frac{1}{4}(283+274+278+288) = 280,75 \text{ kg/cm}^2 > 1,15f'c = 287,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{tidak OK*}$$

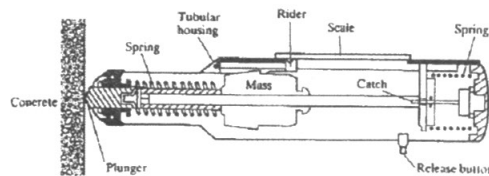
$$fcm_{1,4(4)} = \frac{1}{4}(274+278+288+330) = 292,50 \text{ kg/cm}^2 > 1,15f'c = 287,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{OK!}$$

* Harus dilakukan langkah-langkah menurut Pasal 7.1.6.3).i) dan 7.1.6.3).j) Seksi 7.1 Beton

Divisi 7 Struktur Spesifikasi Umum Bina Marga

17. Kesalahan penggunaan data hasil non-destructive test dengan alat palu beton (concrete hammer).

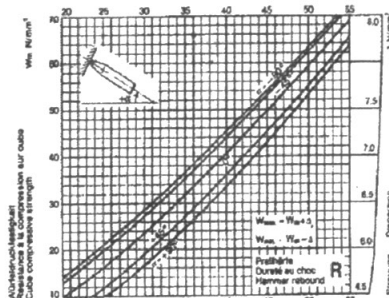
Pengujian dengan palu beton adalah salah satu dari cara pengujian beton yang bersifat tidak merusak (*non-destructive test*). Prinsip kerja alat ini berdasar pada konsep bahwa pantulan suatu massa elastis bergantung pada kekerasan permukaan yang dari padanya pantulan alat diperoleh.



Gambar 25 - Palu beton (concrete hammer)

Ketika palu beton ditekan ke permukaan beton dengan arah tertentu (horizontal, vertikal ke atas, vertikal ke bawah, menyudut) *plunger* akan membentur permukaan beton, kemudian pantulannya mendorong jarum penunjuk untuk membaca efek pantulannya. Nilai pantulan tersebut dapat dibaca setara dengan suatu nilai korelasi kekuatan tekan beton yang bersangkutan. Akan tetapi nilai tersebut hanya berupa indikasi yang relatif saja, karena hanya mewakili bagian mortar yang terkena tumbukan *plunger*.

Nilai pembacaan yang diperoleh merupakan suatu nilai kuat tekan rata-rata (W_m), dan bila diambil bor inti pada titik yang sama di mana pengujian dengan palu beton diambil, kemudian dilakukan pengujian secara *destructive*, hasilnya (lihat Gambar 26) bisa $W_{maks.} = (W_m + \Delta)$ atau $W_{min} = (W_m - \Delta)$. Oleh karena itu merupakan suatu kesalahan, apabila nilai-nilai kekuatan tekan beton yang diperoleh dari pengujian dengan alat palu beton kemudian dinyatakan sebagai nilai kekuatan beton yang sesungguhnya dan dijadikan dasar penerimaan, atau penolakan, atau pembayaran atas hasil pekerjaan beton.



Gambar 26 - Korelasi angka pantul terhadap kekuatan tekan beton

Kegunaan pengujian ini lebih ditujukan untuk keperluan-keperluan sebagai berikut :

- pemeriksaan rutin untuk mengontrol keseragaman mutu produksi beton, (mis. produksi beton pracetak)
- mendapatkan informasi awal mengenai mutu beton pada struktur yang sudah dikerjakan
- dasar pertimbangan untuk dilakukan melepas perancah (*false work*) atau acuan (*form work*)

Daftar Pustaka

A.M. Neville, *Properties of Concrete*, 1995

ACI Manual of Concrete Practice 1989, Part 1, Materials and General

ASTM C 33-93 : *Standard Specification for Concrete Aggregates*.

Pd T-07-2005-B : Pelaksanaan pekerjaan beton untuk jalan dan jembatan.

Properties of Concrete

- SNI 03-1765-1990 : Metode pengujian agregat kasar untuk beton cara uji butiran pipih dan panjang
- SNI 03-1968-1990 : Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar.
- SNI 03-1969-1990 : Metode pengujian berat jenis agregat kasar
- SNI 03-1970-1990 : Metode pengujian berat jenis dan peresapan air agregat halus
- SNI 03-1971-1990 : Metode pengujian kadar air agregat
- SNI 03-1972-1990 : Metode pengujian slump beton.
- SNI 03-1973-1990 : Metode pengujian berat isi beton.
- SNI 03-1974-1990 : Metode pengujian kuat tekan beton.
- SNI 03-2460-1990 : Spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton.
- SNI 03-2491-1991 : Metode pengujian kuat tarik belah beton.
- SNI 03-2492-2002 : Metode pengambilan dan pengujian beton inti.
- SNI 03-2493-1991 : Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium.
- SNI 03-2495-1991 : Spesifikasi bahan tambahan untuk beton.
- SNI 03-2816-1992 : Metode pengujian kotoran organik dalam pasir untuk campuran mortar dan beton.
- SNI 03-2834-2000 : Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.
- SNI 03-3403-1994 : Metode pengujian kuat tekan beton inti pemboran.
- SNI 03-3418-1994 : Metode pengujian kandungan udara pada beton segar.
- SNI 03-3976-1995 : Tata cara pengadukan dan pengecoran beton.
- SNI 03-4141-1996 : Metode pengujian gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat saringan No.200 (0,075 mm).
- SNI 03-4433-1997 : Spesifikasi beton siap pakai.
- SNI 03-4804-1998 : Metode pengujian bobot isi (unit weight) dan rongga udara dalam agregat
- SNI 03-4807-1998 : Metode pengujian untuk menentukan suhu beton segar semen portland.
- SNI 03-4810-1998 : Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di lapangan.
- SNI 03-6817-2002 : Metode pengujian mutu air untuk digunakan dalam beton.
- SNI 03-6825-2002 : Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland
- SNI 03-6826-2002 : Metode pengujian konsistensi normal semen Portland
- SNI 03-6827-2002 : Metode pengujian waktu pengikatan semen Portland
- SNI 03-6889-2002 : Tata cara pengambilan contoh agregat.
- SNI 15-0302-2004 : Semen portland pozzolan.
- SNI 15-2049-2004 : Semen portland.
- SNI 15-2530-1991 : Metode pengujian kehalusan semen Portland
- SNI 15-2531-1991 : Metode pengujian berat jenis semen Portland
- SNI 15-7064-2004 : Semen portland komposit.
- SNI 2417:2008 : Metode pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles.
- SNI 2458:2008 : Metode pengambilan contoh untuk campuran beton segar.
- SNI 3407:2008 : Metode pengujian sifat kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium sulfat dan magnesium sulfat.
- SNI 7656 – 2012 : Tata cara pemilihan proporsi untuk beton normal, beton berat, dan beton massa

Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 – Revisi 3



KEMENTERIAN

PEKERJAAN UMUM

PUSAT PENELITIAN
DAN PENGEMBANGAN
JALAN DAN
JEMBATAN

