

Agregat

Agregat berfungsi sebagai **bahan pengisi** dalam campuran mortar atau beton. Karena volume agregat pada beton $\pm 70\%$ volume beton, agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/beton, serta memberikan kekuatan pada beton, sehingga kualitas agregat sangat mempengaruhi mutu beton yang akan dihasilkan.

- Ukuran butir > 40 mm disebut **batu**
- Ukuran butir $4,80 - 40,00$ mm disebut **Agregat Kasar/Kerikil/Split**
- Ukuran butir $\leq 4,80$ mm **Agregat Halus/Pasir**

Agregat dengan ukuran butir $< 1,20$ mm sering disebut **Pasir Halus**, sedang jika ukuran butir $< 0,075$ mm disebut **Silt** (lumpur), dan disebut **Clay** (lempung) bila ukuran butirnya $< 0,002$ mm.

Agregat yang dipergunakan untuk mendapatkan beton dengan kualitas baik, paling sedikit mempunyai **dua kelompok ukuran**, yaitu kelompok agregat halus (ukuran butir $\leq 4,50$ mm) dan kelompok agregat kasar (ukuran butir $> 4,50$ mm), serta ukuran maksimum umumnya 40 mm.

1. Fungsi Agregat (pada beton)

Agregat Kasar/Kerikil/Split

- a. Bahan pengisi, $\pm 70\%$ volume beton
- b. Memberikan stabilitas volume dan keawetan
- c. Memberikan kekuatan



Agregat Halus/Pasir

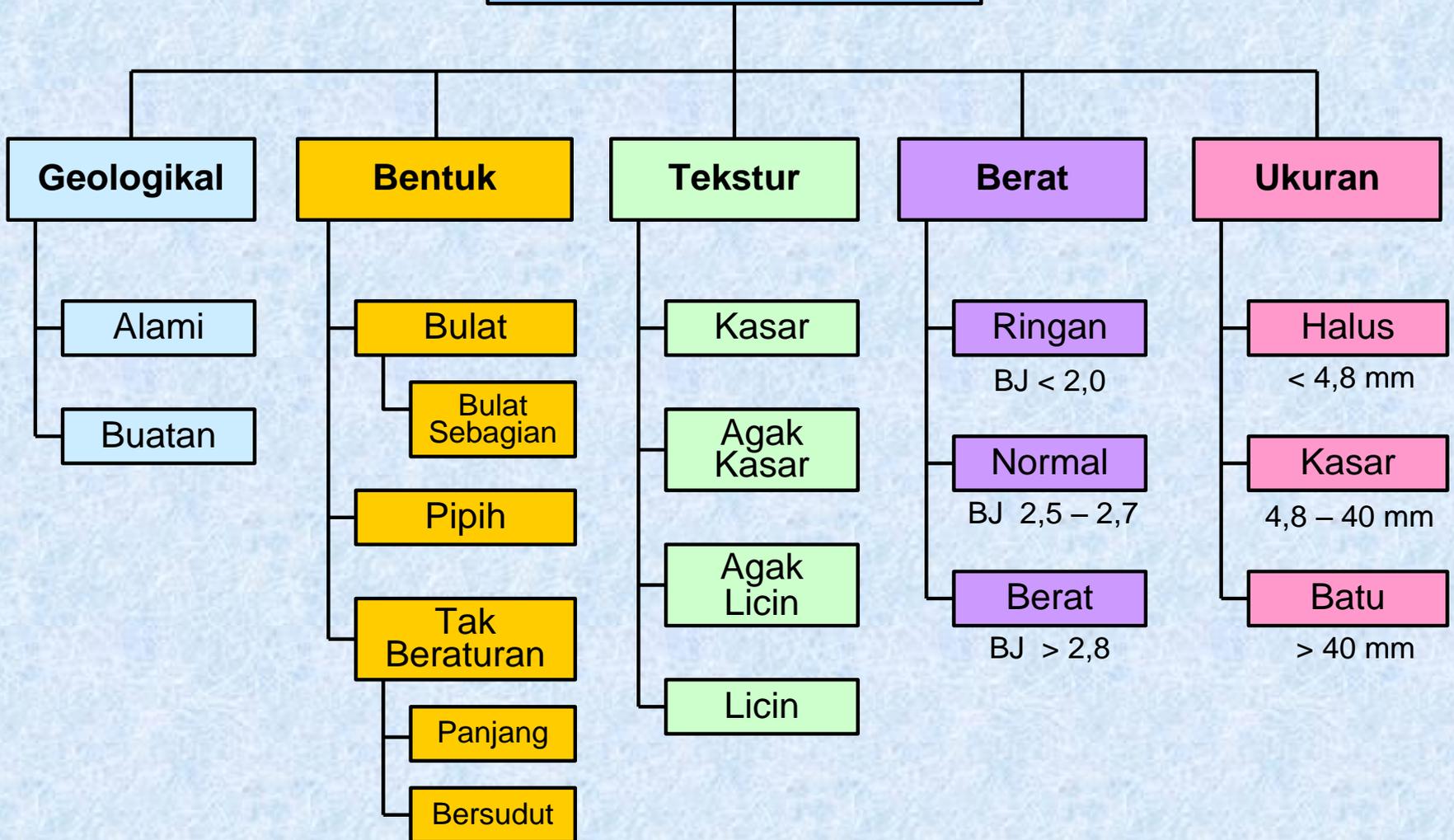
- a. Memberikan sifat dapat dikerjakan dan keseragaman campuran
- b. Membantu semen dalam merekatkan agregat kasar
- c. Mencegah terjadinya segregasi pasta semen dengan agregat kasar



2. Klasifikasi Agregat

Klasifikasi agregat menurut asal agregat, bentuk, tekstur, dll., seperti gambar berikut ini.

KLASIFIKASI AGREGAT



a. Geologikal

Agregat diperoleh dari :

- sumber daya alam (agregat alami) yang telah mengalami pengecilan ukuran secara/oleh proses alam ataupun mekanis (pemecahan batu dan dihaluskan),
- agregat buatan dengan meniru sifat agregat alam ataupun memanfaatkan limbah mineral atau hasil sampingan suatu proses.

Agregat alami dapat digolongkan menjadi

1. Agregat Galian (pasir/kerikil)

- diperoleh langsung dari permukaan atau dengan cara menggali terlebih dahulu
- Umumnya berbutir tajam, bersudut dan berpori
- Bebas dari garam, tetapi umumnya tercampur dengan kotoran tanah/lumpur sehingga harus dicuci terlebih dahulu

2. Agregat Sungai (pasir/kerikil)

- Diperoleh langsung dari dasar sungai
- Umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan.

3. Agregat Laut (pasir)

- Diambil dari pantai
- Butir-butirnya bulat akibat proses gesekan dan halus
- Merupakan pasir yang paling jelek karena mengandung garam-garaman yang menyerap air dari udara, sehingga selalu agak basah, dan menyebabkan mengembang setelah menjadi elemen bangunan

Agregat pecah (pasir atau kerikil/split) didapat dari memecah batu menjadi ukuran yang diinginkan, dengan cara meledakkan, memecah, menggiling dan menyaring (*stone crusher*)

Berdasar terbentuknya/proses geologi, agregat alami dikelompokkan menjadi agregat beku, metamorf dan sedimen.

Agregat Beku (agregat magma) terbentuk oleh proses pembekuan magma dibawah permukaan bumi (*instrusif*) atau pembekuan magma yang keluar akibat letusan gunung berapi (*ekstrusif*).

Batuan sedimen atau batuan endapan terbentuk karena mengendapnya bahan-bahan yang terurai, sehingga membentuk suatu lapisan endapan bahan padat yang secara fisik diendapkan oleh angin, air atau es.

Batuan Metamorf terbentuk karena proses metamorfosis, yaitu perubahan yang dialami oleh batuan karena perubahan temperatur dan tekanan, umumnya peningkatan temperatur dan tekanan akan memperbesar butiran yang terbentuk. Proses metamorfosis dibedakan menjadi : **Metamorfosis Regional**, yaitu perubahan bentuk dalam skala besar yang dialami batuan di dalam kulit bumi yang lebih dalam sebagai akibat terbentuknya pegunungan; **Metamorfosis Kontak**, yaitu perubahan bentuk akibat intrupsi magma panas disekitarnya.

Agregat Buatan/Tiruan dapat berupa :

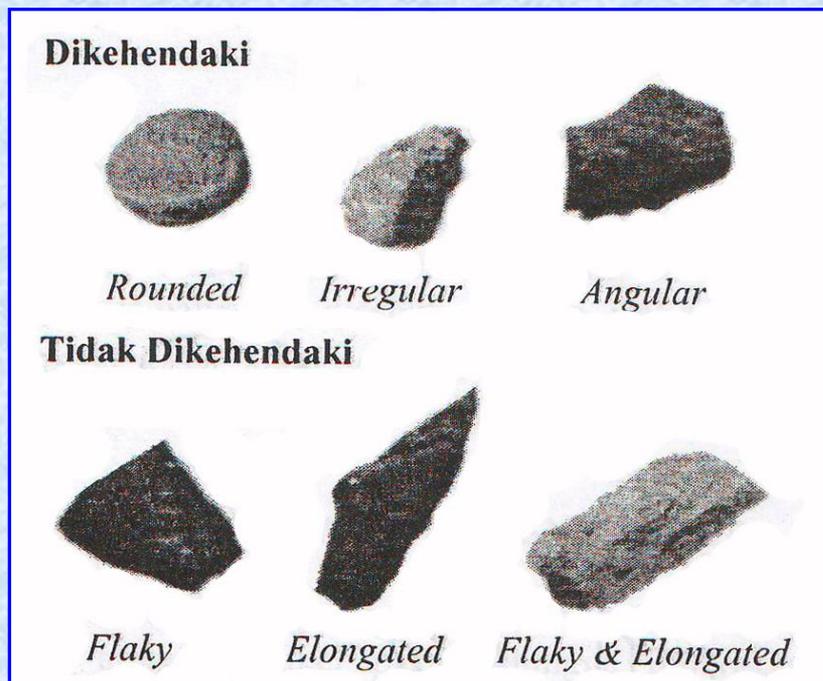
- Pecahan batu bata/genteng
- Tanah liat bakar, dibuat dengan ukuran butir 5 – 20 mm, dibakar dan diperoleh agregat yang keras, ringan dan berpori. Resapan air 8 – 20%, BJ beton dengan agregat ini $\pm 1,90$.
- Limbah/buangan dari suatu proses, seperti
 - Agregat Abu Terbang (*sintered fly-ash aggregate*) yang diperoleh dari pemanasan abu terbang (*fly-ash*) sampai meleleh dan setelah mengeras kembali berbentuk butiran seperti kerikil.
 - Terak tanur tinggi (*blast furnace slags*), dll

b. Bentuk Butir Agregat

Bentuk butir (dan tekstur permukaan) agregat belum terdefinisi dengan jelas, sulit diukur, serta pengaruhnya terhadap beton juga sulit diperiksa dengan teliti. Bentuk butir agregat lebih berpengaruh pada beton segar (mobilitas dan daya rekat) dari beton keras.

Bentuk agregat tergantung pada kebulatan dan sferikal :

❑ **Kebulatan** (kebulatan atau ketajaman sudut)



- Sifat yang dimiliki butir yang tergantung pada ketajaman relatif sudut dan ujung butir
- Didefinisikan secara numeris, sebagai rasio antara jari-jari rata-rata sudut lengkung ujung atau sudut butir terhadap jari-jari maksimum lengkung salah satu ujungnya.

❑ Sferikal

- Sifat yang tergantung pada rasio luas bidang permukaan dan volume butir.
- Nilai rasio berhubungan dengan panjang ketiga sumbu pokok butir :
 - **Bulat**, ketiga sumbu relatif sama panjang
 - **Panjang**, dua sumbu pokok amat pendek dibanding sumbu ketiga
 - **Pipih**, dua sumbu pokok amat panjang dibanding sumbu ketiga.

Secara Numeris :

$$\text{Angka Sferikal} = \frac{d}{a} \quad \text{atau} \quad \text{angka Sferikal} = \sqrt[3]{\frac{b \cdot c}{a^2}}$$

d : diameter ekuivalen bulatan dengan volume yang sama dengan butiran
 a , b dan c adalah panjang sumbu-sumbu pokok butiran dimana $a > b > c$.

Agregat Bulat

- Menghasilkan tumpukan butir yang erat bila dikonsolidasikan, lebih sedikit membutuhkan pasta semen pada tingkat kemudahan pekerjaan yang sama (perpindahan butir lebih mudah pada beton segar) dibanding butir pipih, panjang, atau bersudut/tajam
- Rongga udara minimum 33%, angka sperikal (rasio luas permukaan dan volume) kecil, sehingga kebutuhan pasta semen lebih sedikit
- Ikatan antar butir-butirnya kurang kuat/lekatan lemah, tidak cocok untuk beton mutu tinggi atau perkerasan jalan.

Agregat Bulat Sebagian

- Mempunyai rongga 35 – 38%
- Membutuhkan pasta semen lebih banyak agar adukan dapat dikerjakan
- Ikatan antar butir lebih baik dari agregat bulat, tetapi belum cukup kuat untuk beton mutu tinggi

Agregat Bersudut

- Mempunyai rongga 38 – 40%
- Memerlukan lebih banyak pasta semen agar adukan dapat dikerjakan
- Ikatan antar butirnya baik, sehingga membentuk daya lekat yang baik
- Cocok untuk beton mutu tinggi maupun perkerasan jalan

Agregat Pipih dan Panjang

- **Agregat pipih**, bila ukuran terkecil butiran $< 3/5$ ukuran rata-rata
Misal : agregat lolos saringan lubang ayakan 20 mm, dan tertahan pada lubang ayakan 10 mm, berarti ukuran rata-rata 15 mm maka agregat disebut pipih bila :
ukuran terkecil butiran $< 3/5 \cdot 15 = 9$ mm
- **Agregat panjang**, bila ukuran terbesar $> 9/5$ ukuran rata-rata
Misal : agregat lolos saringan lubang ayakan 20 mm, dan tertahan pada lubang ayakan 10 mm, berarti ukuran rata-rata 15 mm maka agregat disebut panjang bila :
ukuran sisi terpanjang butiran $> 9/5 \cdot 15 = 27$ mm
- **Agregat pipih/panjang** berpengaruh buruk terhadap daya tahan/keawetan beton, agregat ini cenderung berkedudukan rata air (horizontal), sehingga membentuk rongga udara dibawahnya.

c. Tekstur Permukaan Agregat

Tekstur permukaan ialah suatu sifat permukaan butir, halus, kasar, licin, mengkilap, atau kusam. Ukuran secara numerik, seperti pada logam belum terdapat pada agregat.

Tekstur permukaan tergantung pada kekerasan, ukuran molekul, tekstur batuan, dan tergantung juga pada besar gaya yang bekerja pada permukaan butiran yang membuat licin atau kasar permukaan tersebut.

Berdasarkan pemeriksaan visual agregat, tekstur permukaan agregat dibedakan menjadi : **sangat halus** (glassy), **halus**, **granuler**, **kasar**, **berkristal** (*crystalline*), **berpori** dan **berlubang-lubang**.

Sifat-sifat agregat, terutama bentuk dan tekstur permukaan sangat mempengaruhi mobilitas (sifat mudah dikerjakan) dari beton segar, maupun daya lekat antara agregat dengan pastanya, dimana rekatan merupakan pengembangan dari ikatan mekanis antar butiran.

Agregat dengan permukaan berpori dan kasar lebih disukai dari agregat dengan permukaan halus, karena agregat dengan tekstur kasar dapat meningkatkan rekatan agregat – pasta sampai 1,75 kali, dan akibatnya kuat tekan beton meningkat sampai 20%.

Selain itu, kekasaran permukaan agregat menambah kuat tarik dan kuat lentur beton, ini disebabkan menambah gesekan antara pasta dan permukaan butir.

Bila tekstur permukaan licin, maka membutuhkan air lebih sedikit dibanding butiran dengan permukaan kasar.

d. Berat Agregat

Besaran berat (berat jenis, berat isi/volume) dipengaruhi oleh volume. Volume agregat terdiri dari : Volume zat padat, Volume pori ter-tutup dan Volume pori terbuka

Berat Jenis (specific gravity) agregat adalah rasio antara massa padat agregat terhadap massa air dengan volume dan suhu yang sama.

Karena umumnya butiran agregat mengandung pori-pori yang tertutup/tidak saling berhubungan, maka bj agregat dibedakan menjadi :

- bj mutlak : volume zat padat saja (tanpa volume pori)
- bj semu (bj tampak) : volume zat padat termasuk volume pori tertutup

Berat jenis agregat normal berkisar **2,50 – 2,70**.

Berat Satuan (berat isi/volume) agregat adalah berat agregat dalam satu satuan volume, dinyatakan dalam kg/liter atau ton/m³. Volume yang digunakan adalah volume total, yang meliputi volume zat padat (termasuk pori tertutup) dan volume pori terbuka.

Jika : $V_t =$ volume total

$V_b =$ volume butiran/zat padat (termasuk pori tertutup)

$V_p =$ volume pori terbuka

Maka Volume total $V_t = V_b + V_p$

Berat Jenis $b_j = \frac{W}{V_b}$ dengan $W =$ berat kering agregat

Berat Satuan : $b_{sat.} = \frac{W}{V_t}$

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

Kepadatan/kemampatan $K = \frac{V_b}{V_t} \cdot 100\%$

Hubungan antara porositas – kepadatan $K = 100 - P$

Besaran-besaran agregat dari beberapa hasil penelitian sbb.

Porositas	= 35 – 40 %
Kepadatan	= 60 – 65 %
Berat Jenis	= 2,50 – 2,70
Berat Satuan	= 1,20 – 1,60

e. Ukuran Butir Agregat

Pengukuran ukuran butir agregat didasarkan atas suatu pemeriksaan dengan alat berupa satu set **ayakan/saringan** dengan lubang-lubang tertentu, berturut-turut : 76 mm, 38 mm, 19 mm, 9,6 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm dan 0,15 mm.

Adukan beton dengan tingkat kemudahan yang sama, atau beton dengan kekuatan yang sama, akan membutuhkan semen yang lebih sedikit bila digunakan butir-butir kerikil yang besar (karena luas permukaan agregat kecil) dibanding menggunakan kerikil dengan butiran kecil. Pengurangan jumlah semen, berarti mengurangi panas hidrasi dan berarti mengurangi kemungkinan beton retak akibat susut dan perbedaan panas yang besar.

Besar butir maksimum agregat tidaklah dapat terlalu besar, karena terdapat faktor-faktor yang membatasi.

Ukuran butiran maksimum agregat adalah :



- a) $\leq 3/4$ kali jarak bersih antar baja-tulangan atau antara baja-tulangan dan cetakan
 - b) $\leq 1/3$ kali tebal pelat
 - c) $\leq 1/5$ kali jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan.
- Untuk beton bertulang, ukuran agregat ≤ 40 mm, dan untuk beton tanpa baja-tulangan ukuran maksimum butiran dapat lebih besar.

3. Gradasi dan Syarat Gradasi Agregat untuk Beton

Gradasi agregat : keragaman/distribusi ukuran butir agregat, dan dinyatakan dalam nilai prosentase butiran yang tertinggal/tertahan atau lewat/lolos dalam suatu susunan ayakan (lubang 76 mm, 38 mm, 19 mm, 9,6 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm dan 0,15 mm)

Tingkat gradasi mempengaruhi jumlah volume pori, kemampatan dan kebutuhan perekat (pasta semen).

Semakin bervariasi ukuran butir (dari ukuran besar ke kecil), semakin kecil pori diantara butiran, maka agregat semakin mampat dan semakin sedikit kebutuhan perekat (semen/pasta semen) untuk merekatkan butiran dan mengisi ruang diantara butiran.

Gradasi Sela : didefinisikan sebagai agregat dengan salah satu atau lebih ukuran fraksi yang berukuran tertentu tidak ada.

- Pada suatu nilai fas dan rasio agregat – semen tertentu, kemudahan pengerjaan akan lebih tinggi jika kandungan pasir lebih sedikit
- Adukan beton segar dengan tingkat kemudahan pengerjaan tinggi, lebih mudah mengalami segregasi. Dianjurkan agregat dengan gradasi sela digunakan pada tingkat kemudahan pengerjaan rendah, sedang pemadatannya dilakukan dengan penggetaran
- Tidak tampak berpengaruh pada kuat tekan atau kuat tarik
- Pada kurva gradasi ditandai dengan adanya garis horizontal.

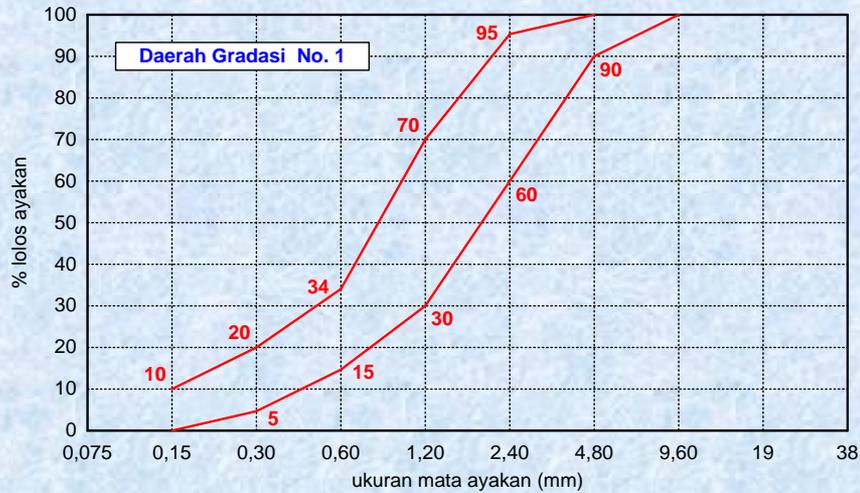
Gradasi Seragam : agregat mempunyai ukuran butir seragam/tunggal, atau agregat dengan ukuran butir berbeda dalam batas sempit/hampir sama.

- Pada kurva gradasi ditandai oleh garis yang hampir tegak/vertikal
- Biasa digunakan untuk beton ringan tanpa pasir, untuk mengisi agregat gradasi sela, tambahan agregat gradasi campuran yang tidak memenuhi syarat.

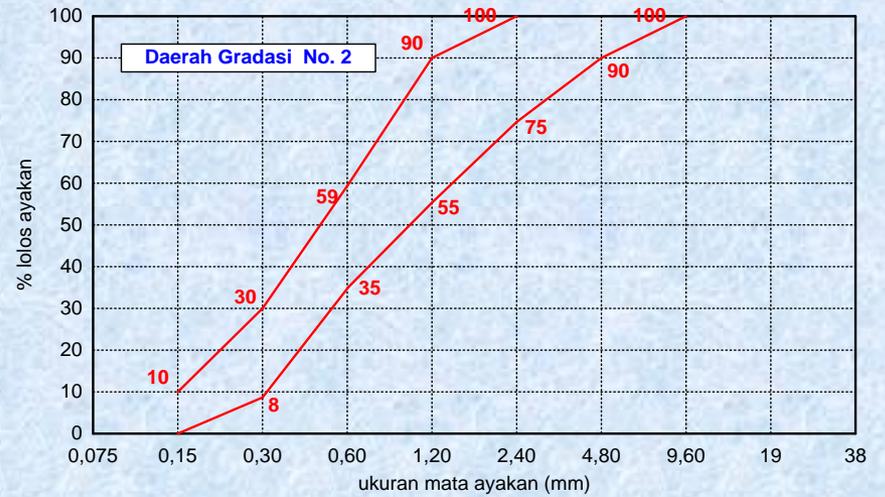
Gradasi Menerus : pada gradasi ini ukuran butir agregat beragam, serta memiliki semua ukuran saringan.

- Ditandai dengan kurva gradasi yang menerus.

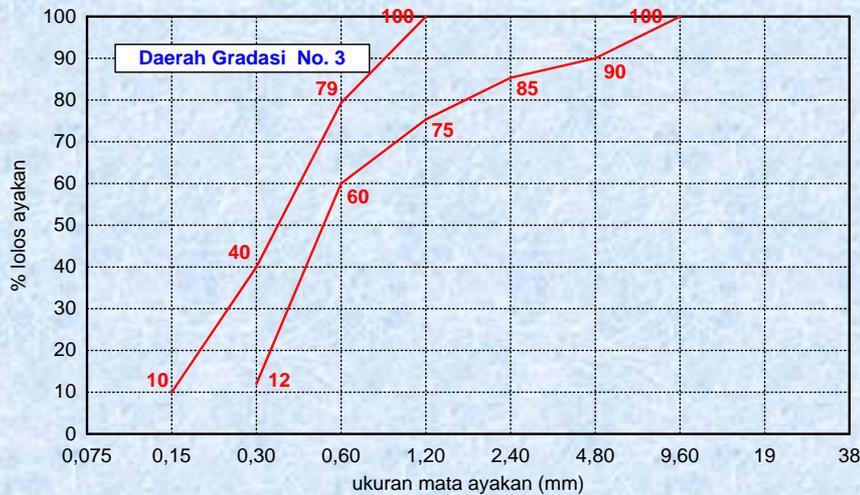
Persyaratan Gradasi agregat halus/pasir, dan agregat kasar/kerikil, serta gradasi agregat gabungan (agregat halus dan agregat kasar untuk beton) seperti gambar-gambar berikut ini.



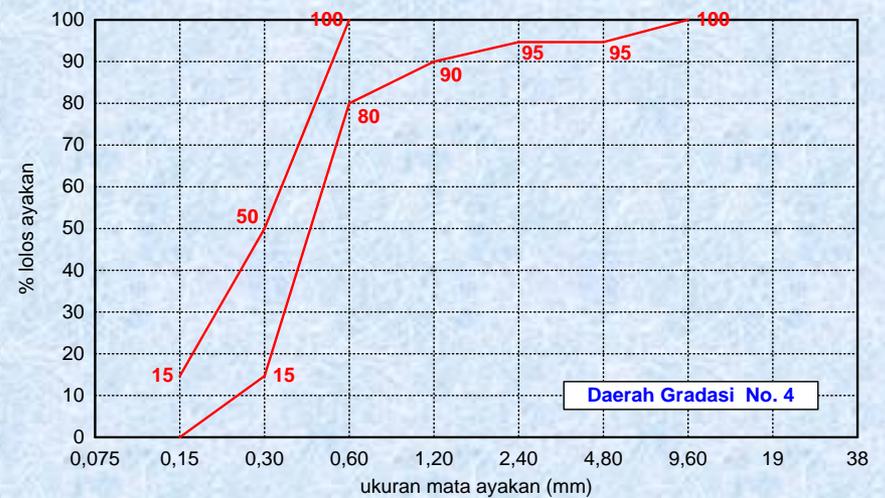
Gambar 2.4 : Batas Gradasi Pasir (Kasar) No. 1



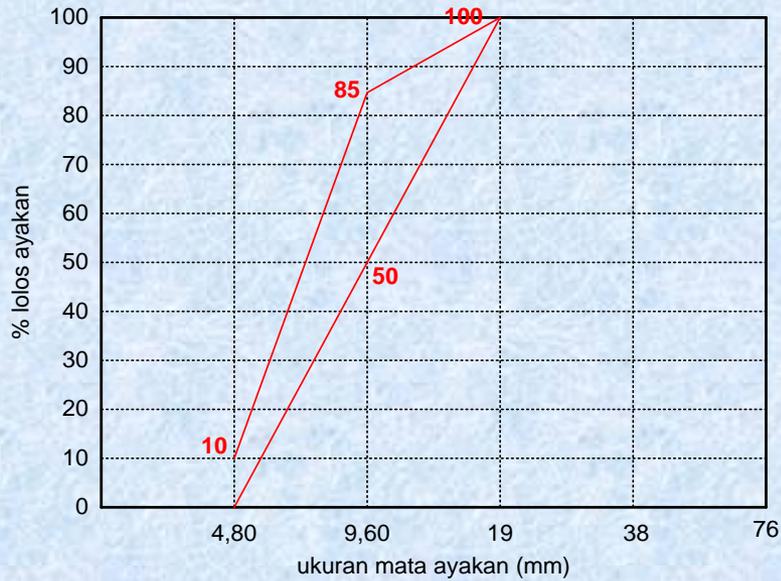
Gambar 2.5 : Batas Gradasi Pasir (Sedang) No. 2



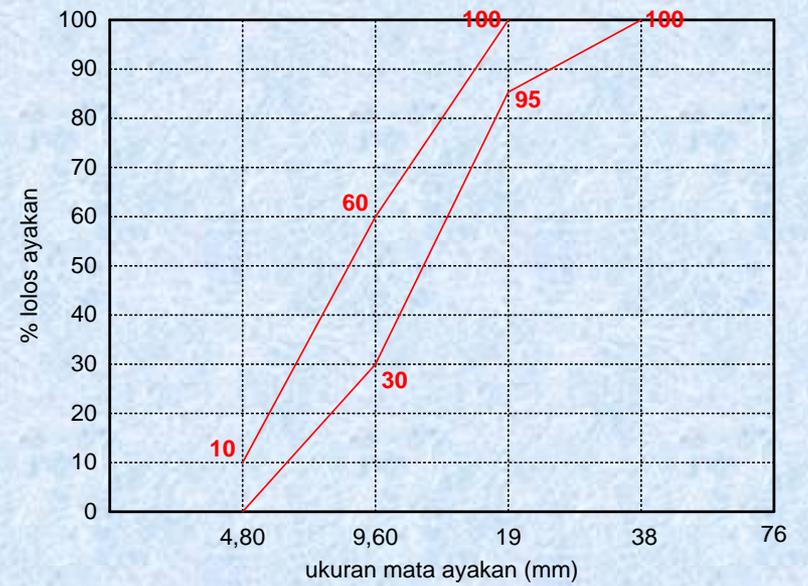
Gambar 2.6 : Batas Gradasi Pasir (Agak Halus) No. 3



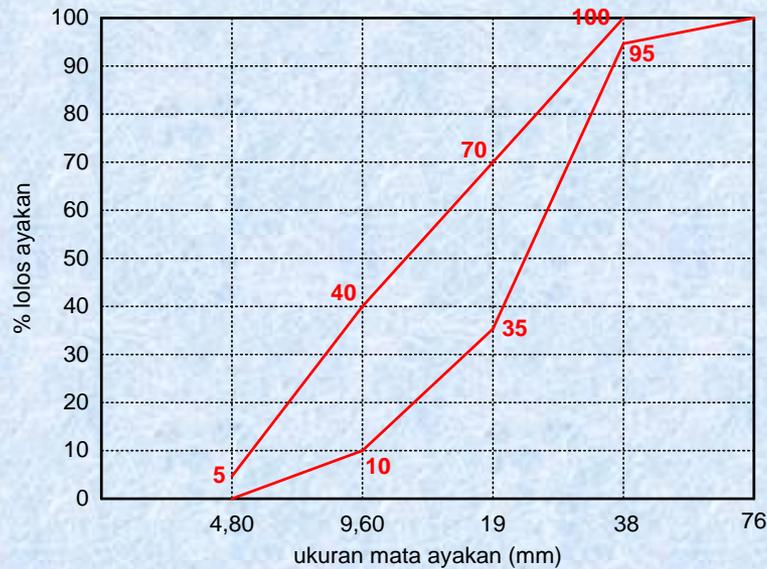
Gambar 2.7 : Batas Gradasi Pasir dalam Daerah No. 4



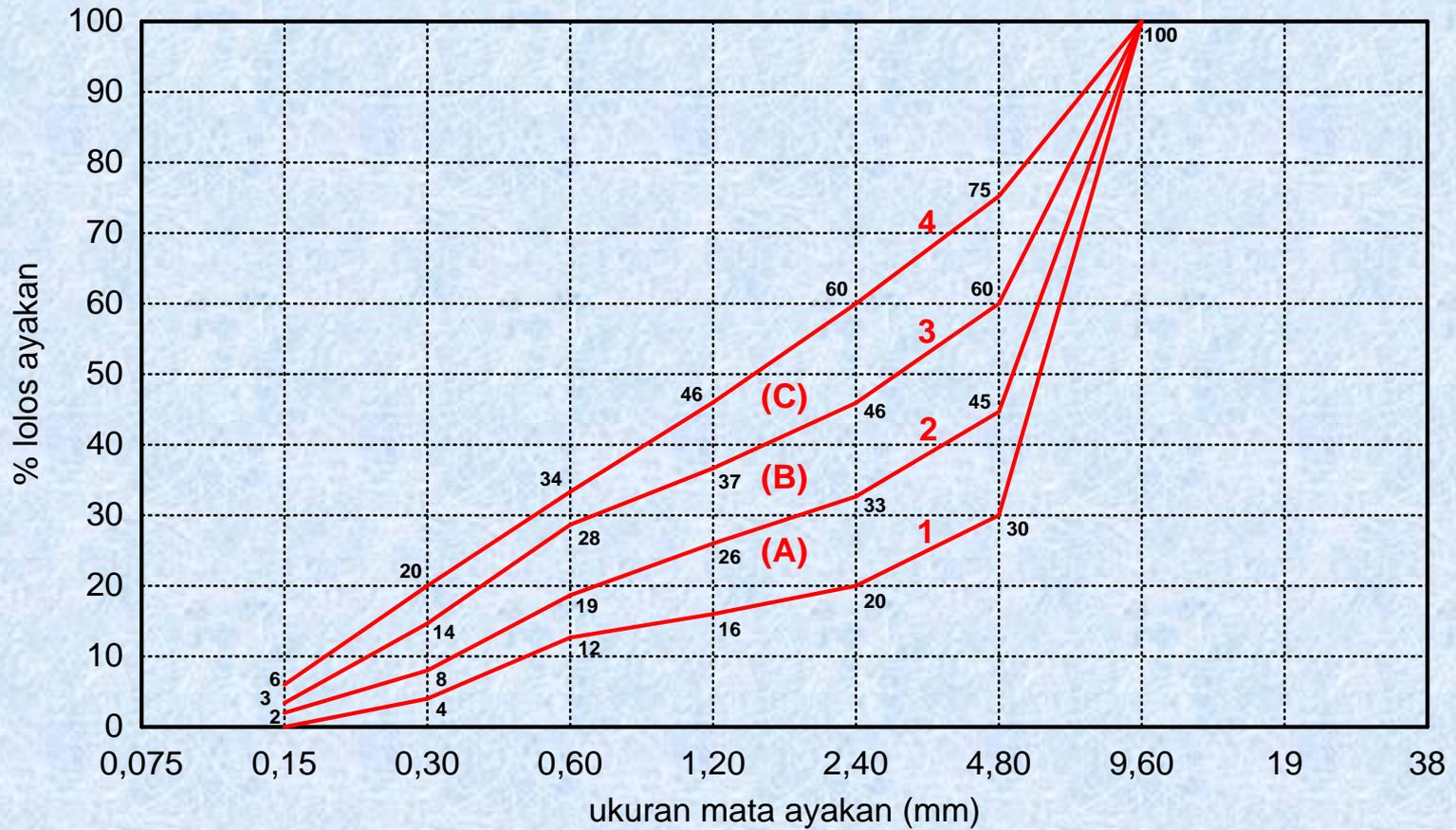
Gambar 2.8 : Batas Gradasi Kerikil ukuran maksimum 10 mm



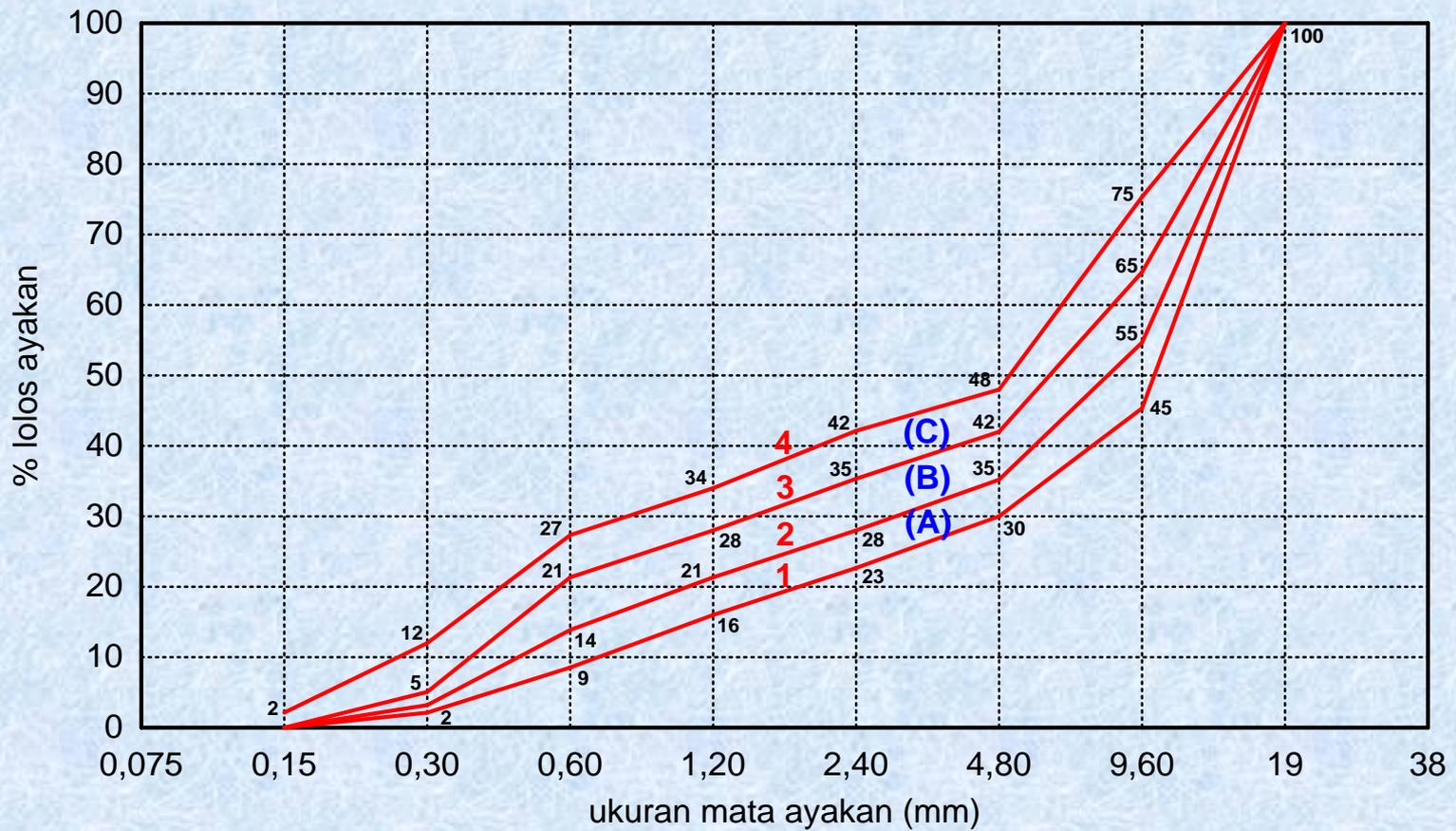
Gambar 2.9 : Batas Gradasi Kerikil ukuran maksimum 20 mm



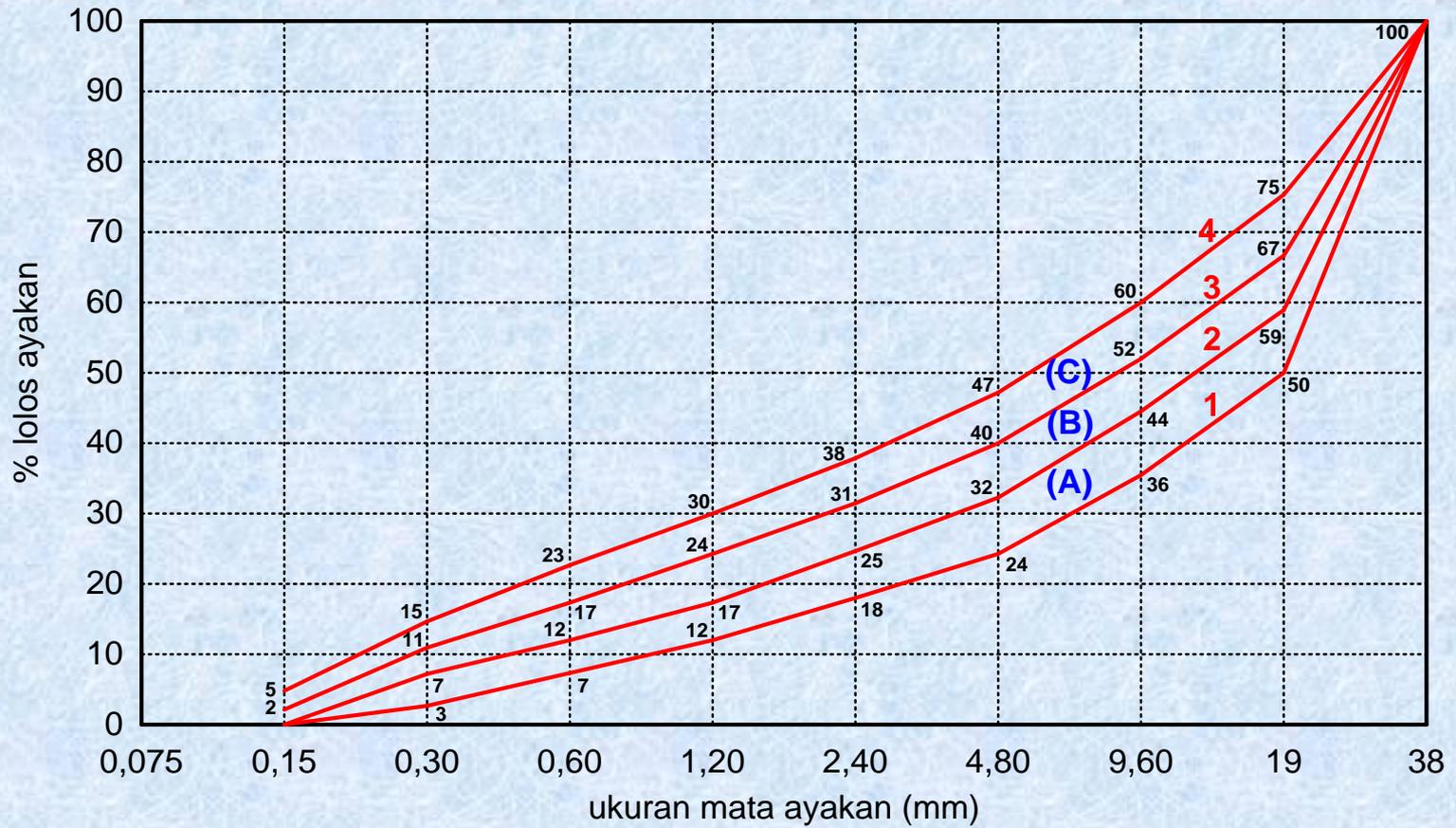
Gambar 2.10 : Batas Gradasi Kerikil ukuran maksimum 40 mm



Gambar 2.11 : Batas Gradasi Agregat Gabungan untuk besar butir maksimum 10 mm



Gambar 2.12 : Batas Gradasi Agregat Gabungan untuk besar butir maksimum 20 mm



Gambar 2.13 : Batas Gradasi Agregat Gabungan untuk besar butir maksimum 40 mm

Sering terjadi bahwa untuk memenuhi syarat gradasi agregat tertentu, tidak dapat dengan hanya menggunakan satu macam agregat, tetapi harus menggabungkan beberapa agregat dengan prosentase untuk masing-masing agregat tertentu. Untuk mendapatkan prosentase masing-masing agregat digunakan rumus :

$$P_{gab} = \frac{y_1 \cdot x_1 + y_2 \cdot x_2}{100} \quad \text{atau} \quad P_{gab} = \frac{y_1 \cdot x_1 + y_2 \cdot (100 - x_1)}{100}$$

P_{gab} : prosentase agregat gabungan

y_1 & y_2 : prosentase lolos saringan tertentu agregat 1 dan agregat 2

x_1 & x_2 : prosentase masing-masing agregat untuk agregat gabungan

CONTOH :

Terdapat dua macam pasir, pasir A dan pasir B dengan gradasi seperti tabel dibawah ini. Direncanakan kedua pasir tersebut digabungkan sehingga memenuhi syarat pasir daerah gradasi No. 2.

Ukuran	Pasir A	Pasir B
Lubang	Bagian	Bagian
mata	lolos	lolos
Ayakan	ayakan	ayakan
(mm)	(%)	(%)
96	100	100
48	100	100
24	100	62
12	100	50
0,6	85	10
0,3	60	0
0,15	30	0

Untuk mencari proporsi masing-masing ukuran butir pasir dilakukan dengan **cara coba-coba**.

Pada contoh ini ditinjau bagian yang lolos saringan 0,60, dimana pada gradasi pasir daerah 2, jumlah yang lolos saringan 0,60 antara 35% – 59%, karena itu pasir gabungan/pasir C diambil jumlah pasir yang lolos saringan 0,60 sebesar 45%.

$$P_{\text{gab}} = \frac{y_1 \cdot x_1 + y_2 \cdot (100 - x_1)}{100}$$

$$45 = \frac{85 \cdot x_1 + 10 \cdot (100 - x_1)}{100} \rightarrow 4500 = 85 \cdot x_1 - 10 \cdot x_1 + 1000$$

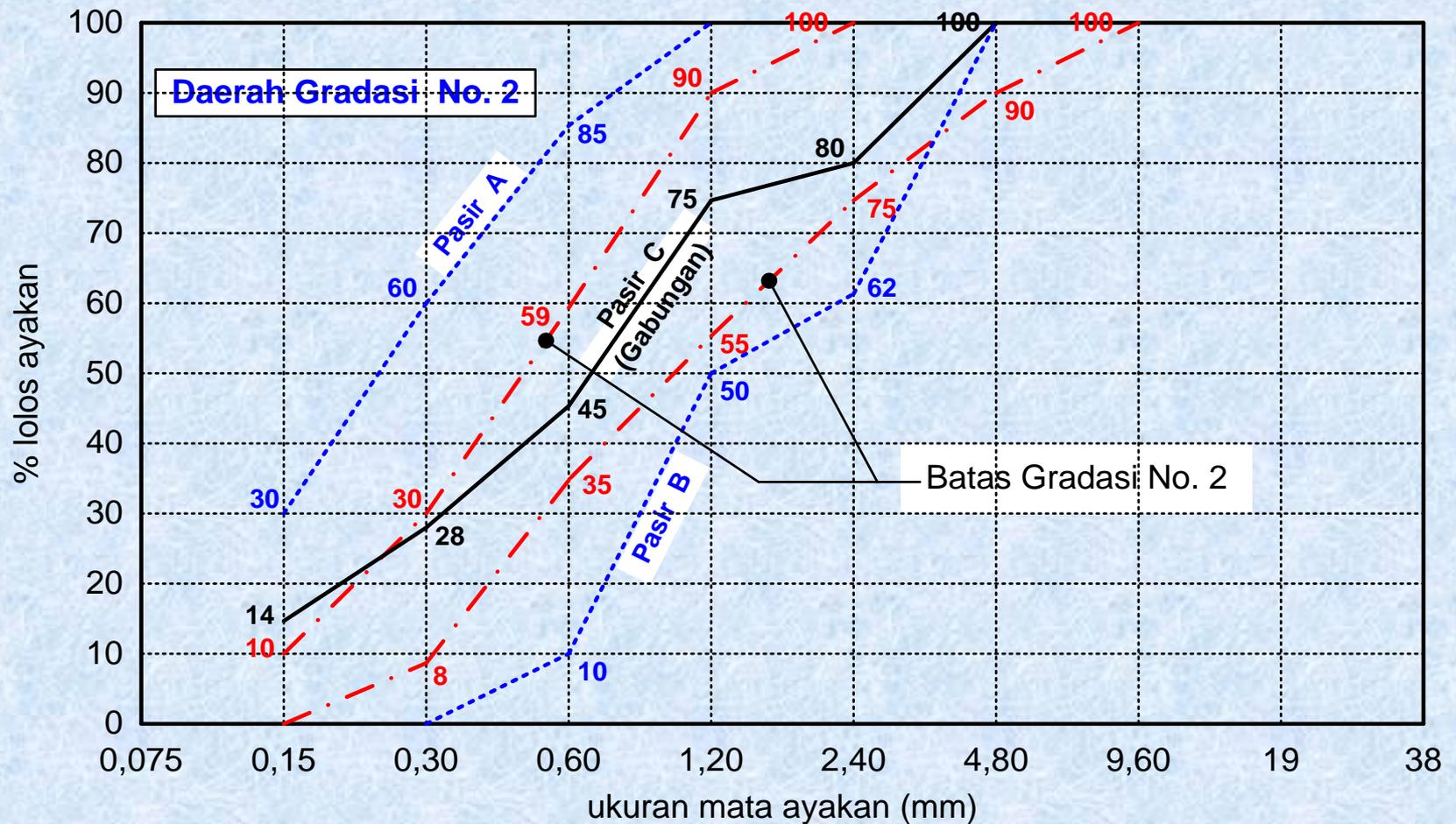
$$x_1 = \frac{4500 - 1000}{85 - 10} = 46,67 \approx 47\%$$

Prosentase Pasir A = 47%

Prosentase Pasir B = $(100 - 47)\% = 53\%$

Perhitungan kebutuhan Pasir A dan Pasir B yang lolos setiap mata ayakan untuk mendapatkan Pasir C (pasir gabungan), yang memenuhi persyaratan Pasir Daerah Gradasi No. 2 seperti pada tabel berikut ini. Kemudian hasil hitungan digambar kurva gradasinya

Ukuran Lubang mata ayakan (mm)	Pasir A Bagian lolos ayakan (%)	Pasir B Bagian lolos ayakan (%)	Gabungan Pasir A dan Pasir B (Pasir C)		
			Pasir A 47% Bagian lolos ayakan (%)	Pasir B 53% Bagian lolos ayakan (%)	Gabungan Bagian lolos ayakan (%)
a	b	c	d	e	f
9,6	100	100	47	53	100
4,8	100	100	47	53	100
2,4	100	62	47	33	80
1,2	100	50	47	27	74
0,6	85	10	40	5	45
0,3	60	0	28	0	28
0,15	30	0	14	0	14
0,075	0	0	0	0	0



Gradasi Pasir Gabungan dan Batas Gradasi Pasir No. 2

CONTOH :

Untuk mendapatkan gradasi yang memenuhi syarat untuk kerikil dengan ukuran maksimum 40 mm, dilakukan dengan menggabungkan 3 macam kerikil,

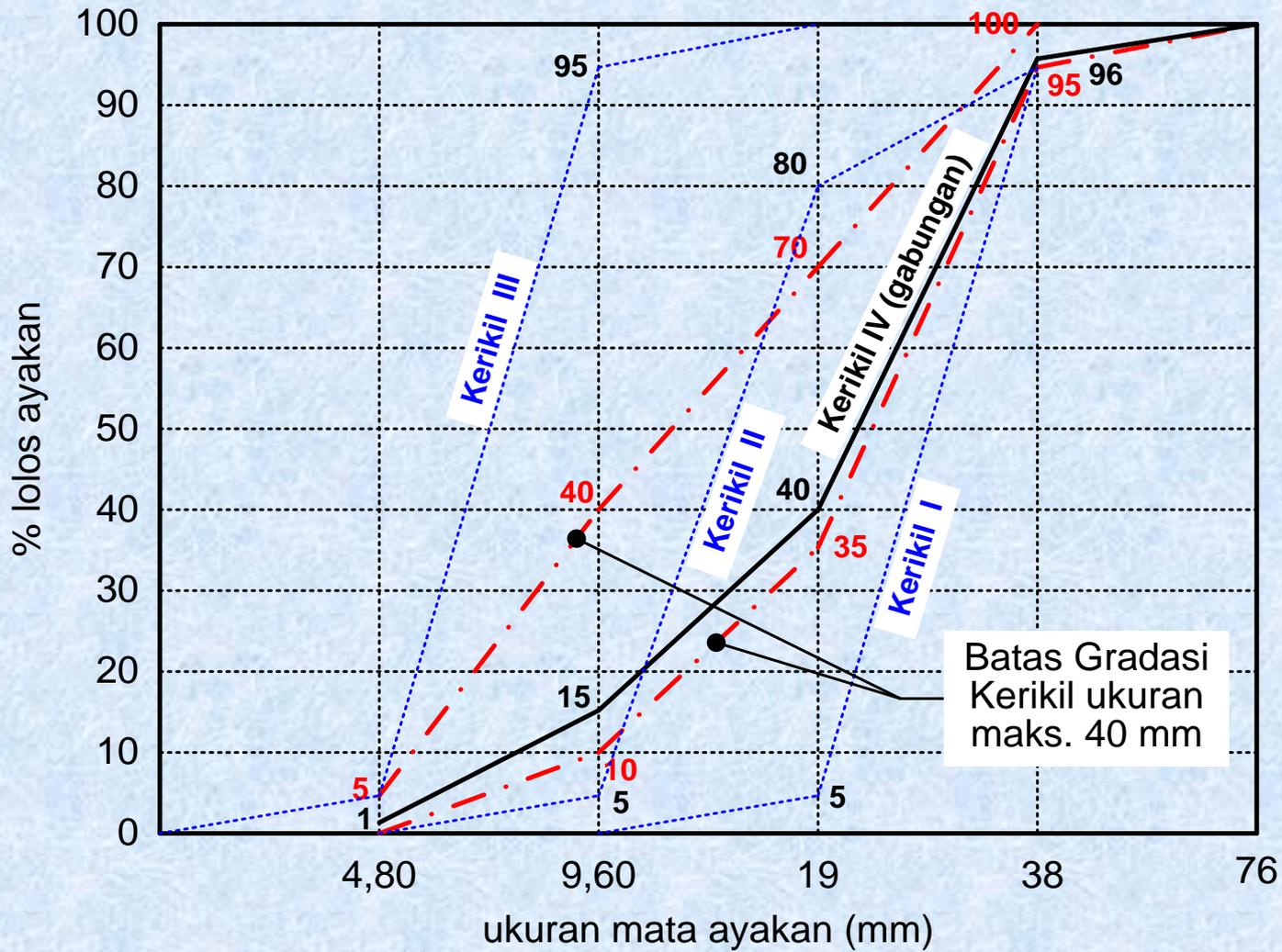
Kerikil I ukuran 19 – 39 mm proporsi 57%

Kerikil II ukuran 9,6 – 39 mm proporsi 29%

Kerikil III ukuran 4,8 – 9,6 mm proporsi 14%

Distribusi butiran dan hasil hitungan Kerikil Gabungan sbb.

Ukuran lubang mata ayakan (mm)	Kerikil I	Kerikil II	Kerikil III	Kerikil Gabungan (kerikil IV) 57% I + 29% II + 14% III			
	19 - 39 mm	9,6 -39 mm	4,8 - 9,6 mm	Kerikil I	Kerikil II	Kerikil III	Gabungan
	Bagian lolos ayakan (%)	Bagian lolos ayakan (%)	Bagian lolos ayakan (%)	Bagian lolos ayakan (%)			
a	b	c	d	e	f	g	h
76	100	100	100	57	29	14	100
38	95	95	100	54	28	14	96
19	5	80	100	3	23	14	40
9,6	0	5	95	0	1	13	15
4,8	0	0	5	0	0	1	1
2,4	0	0	0	0	0	0	0



Gradasi Kerikil Gabungan (contoh)

4. Daya Serap Air dan Kadar Air Agregat

Dalam pori-pori agregat yang terbentuk pada saat pembentukannya terdapat udara yang terperangkap, atau akibat dekomposisi mineral pembentuk tertentu akibat perubahan cuaca menyebabkan terjadinya rongga kecil/pori-pori pada agregat. Beberapa merupakan pori-pori tertutup dan beberapa lainnya merupakan pori-pori terbuka terhadap permukaan butiran.

Kondisi	Kandungan Air	Penyerapan Air
Kering Tungku	tidak terdapat air baik di dalam pori atau dipermukaan butiran	banyak
Kering Udara	permukaan butiran kering, sebagian pori-pori berisi air	sedikit
Jenuh kering muka (SSD \approx saturated surface-dry)	permukaan butiran kering, tetapi pori-pori penuh terisi air	tidak menyerap air, dan tidak menambah air campuran
Basah	permukaan butiran basah dan pori-pori penuh terisi air	tidak menyerap air, tetapi air pada permukaan butiran menambah air campuran

Karena volume agregat $\pm 70\%$ dari volume beton, maka porositas agregat memberikan kontribusi pada porositas beton secara keseluruhan dan pori-pori agregat dapat menjadi reservoir air bebas didalam agregat

Daya Serap : persentase berat air yang mampu diserap jika agregat direndam dalam air.

Kadar Air : persentase berat air yang dikandung agregat. Keadaan kandungan air dalam agregat perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang perlu dipakai dalam adukan beton, juga untuk mengetahui berat satuan agregat.

Kondisi Agregat :

- Kondisi yang sering digunakan sebagai dasar hitungan kebutuhan air campuran adalah kondisi kering tungku dan kondisi SSD, karena konstan untuk suatu agregat tertentu
- Kondisi basah atau kering udara bervariasi sesuai lingkungannya, dan merupakan kondisi alami di lapangan
- Kondisi SSD merupakan kondisi yang hampir mirip dengan kondisi \ agregat dalam beton.

Resapan Effektif : jumlah air yang diserap oleh agregat kering udara untuk menjadi agregat SSD.

$$R_{\text{eff}} = \frac{W_{\text{ssd}} - W_{\text{ku}}}{W_{\text{ssd}}} \cdot 100\%$$

Untuk menghitung/memperkirakan jumlah air adukan beton yang akan terserap oleh agregat, karena kadar air agregat < kadar air SSD, digunakan persamaan :

$$A_{\text{sr}} = R_{\text{eff}} \cdot W_{\text{ag}}$$

Air Kelebihan : jumlah air yang berasal dari agregat basah dan menjadi air kelebihan / tambahan air dalam adukan beton

$$A_{\text{kel}} = \frac{W_{\text{bsh}} - W_{\text{ssd}}}{W_{\text{ssd}}} \cdot 100\%$$

Untuk menghitung jumlah air yang akan ditambahkan (oleh agregat basah) dalam adukan beton, digunakan rumus :

$$W_{\text{tambah}} = A_{\text{kel}} \cdot W_{\text{ag}}$$

Kadar Air

$$K_{\text{air}} = \frac{W_{\text{agr}} - W_{\text{kt}}}{W_{\text{kt}}} \cdot 100\%$$

Kadar Air Agregat SSD

$$K_{\text{ssd}} = \frac{W_{\text{ssd}} - W_{\text{kt}}}{W_{\text{kt}}} \cdot 100\%$$

Pasir yang dipakai untuk campuran beton, biasanya digunakan berat satuan jenuh kering muka (SSD)

$$b_j = \frac{A}{A - B}$$

- R_{eff} : resapan efektif
- W_{ag} : berat agregat
- W_{ku} : berat agregat kering udara
- W_{kt} : berat agregat kering tungku
- W_{ssd} : berat agregat SSD
- W_{bsh} : berat agregat basah
- A_{sr} : jumlah air yang diserap agregat
- A_{kel} : jumlah air kelebihan
- A : berat pasir SSD di udara
- B : berat pasir dalam air

5. Modulus Halus Butir (MHB)

Modulus halus butir (fineness modulus) adalah suatu indeks yang digunakan untuk menunjukkan kehalusan/kekasaran butiran agregat. MHB didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif butir agregat yang tertinggal/ tertahan diatas suatu set ayakan dan dibagi 100 (seratus). Susunan lubang ayakan tersebut adalah : 38 mm, 19 mm, 9,6 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm dan 0,15 mm.

MHB pasir : 1,5 – 3,8

MHB kerikil : 5 – 8

- Selain sebagai ukuran kehalusan butir, mhb dapat dipakai untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dan kerikil dalam pembuatan campuran beton.

MHB campuran (pasir + kerikil) 5 – 6,5.

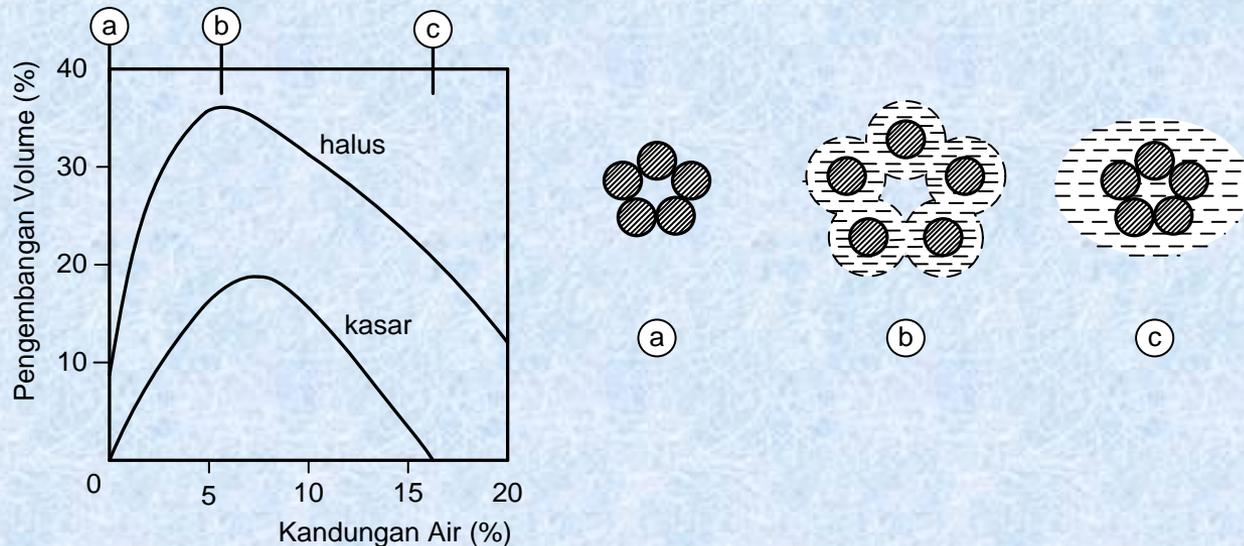
- Hubungan antara mhb pasir, mhb kerikil dan mhb campuran :

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

dengan W : persentase berat pasir terhadap berat kerikil ; K : mhb kerikil
P : mhb pasir ; C : mhb campuran

Pengembangan volume ini disebabkan karena adanya lapisan tipis (selaput permukaan) air disekitar butir-butir pasir. Ketebalan lapisan air itu bertambah sesuai bertambahnya kandungan air didalam pasir, dan berarti pengembangan volume secara keseluruhan.

Pengembangan volume pasir tersebut dapat mencapai **25 – 40%** pada kadar air (berat air dibagi berat pasir) 5 – 8%. Pasir halus akan mengembang lebih besar dibandingkan pasir kasar.



Pengembangan Volume Pasir

7. Kekuatan dan Keuletan Agregat

Kekuatan dan keuletan agregat mempengaruhi kekuatan dan keawetan beton. Kekuatan Agregat dipengaruhi oleh :

- Jenis partikel pembentuk
- Ikatan antar partikel
- Porositas atau kepadatan (yang juga mempengaruhi keuletan/ketahanan terhadap kejut)

Sifat Elastisitas agregat (modulus elastisitas dalam pengujian beban uniaksial), sama seperti bahan getas lain. Pada umumnya agregat yang lebih kuat mempunyai modulus elastisitas lebih tinggi.

Pengujian Kekuatan agregat kasar dilakukan dengan antara lain :

- **Alat Uji Derak (Los Angeles)**



agregat dimasukkan dalam silinder baja bersama-sama dengan bola-bola baja, kemudian silinder diputar sehingga butiran agregat terpukul dan terabrasi. Prosentase agregat yang hancur (terabrasi) merupakan ukuran dari keuletan, kekerasan dan ketahanan aus agregat.

- **Dengan Bejana Rudeloff,**

(berupa bejana silinder baja dan stempel baja) : agregat dimasukkan dalam silinder kemudian ditekan dengan stempel dengan gaya tekan 20 ton selama 2 menit. Bagian butiran yang hancur dengan ukuran < 2 mm ditimbang dan merupakan ukuran kekuatan agregat.

8. Ketahanan Cuaca (kekekalan)

Ketahanan Cuaca atau **Kekekalan** adalah sifat ketahanan agregat terhadap perubahan cuaca. Sifat ini merupakan petunjuk kemampuan agregat untuk menahan perubahan volume yang berlebihan akibat perubahan kondisi lingkungan/cuaca, misalnya perubahan suhu, musim kering dan musim hujan yang berganti-ganti.

Suatu agregat dikatakan tidak bersifat kekal apabila akibat perubahan volume akan memperburuk sifat beton, mungkin muncul dalam bentuk perubahan setempat-setempat hingga terjadi rekahan permukaan atau disintegrasi pada suatu kedalaman yang cukup besar. Jadi kerusakannya bervariasi dari kenampakan yang berubah, sampai keadaan yang secara struktural/kekuatan membahayakan.

9. Reaksi Alkali-Silika

Reaksi alkali-silika adalah reaksi antara silika aktif yang terkandung dalam agregat dengan alkali dalam semen. Bentuk-bentuk silika yang reaktif dalam batuan opaline, chalcodonic cherts, phylites, rhyolites, tuff rhyolites, andesif, tuff andesif, batu gamping silika, dan sebagainya.

Reaksi dimulai dengan serangan terhadap mineral-mineral silika dalam agregat oleh alkalin hidroksida semen. Reaksi ini membentuk gel alkali-silika yang menyelimuti butiran-butiran agregat, dan gel tersebut dikelilingi oleh pasta semen. Akibat adanya pemuaian yang disebabkan oleh reaksi alkali-silika itu sendiri, serta ditambah tekanan hidraulik melalui proses osmose, maka terjadilah tegangan internal yang dapat mengakibatkan pasta semen retak atau pecah.

Reaktifitas alkali-silika dipengaruhi oleh ukuran butir dan porositas, karena keduanya mempengaruhi luas permukaan dimana reaksi itu berlangsung, dan kadar alkali semen serta kehalusan butir-butir semen. Laju reaksi alkali-silika juga dipengaruhi oleh adanya air yang tidak menguap dalam pasta, serta kondisi lingkungan (basah-kering yang berganti-ganti) dan suhu (mudah terjadi pada suhu 10 – 40° C).

Pemuaian akibat reaksi alkali-silika dapat dikurangi dengan menambah bubuk silika reaktif ke dalam campuran adukan beton, karena akan menambah luas permukaan agregat dan terbentuk silika-kalsium-alkali yang tidak memuai. Dosis penambahan bubuk silika reaktif adalah 20 gram untuk setiap gram alkali yang melebihi 0,50% berat semen.

10. Sifat Termal Agregat

Sifat termal agregat mempengaruhi keawetan dan kualitas beton. Sifat fisik yang berkaitan dengan perubahan suhu/sifat termal adalah :

a. Koefisien Muai

- koefisien muai agregat tergantung jenis material agregat, umumnya bernilai $5,4 \cdot 10^{-6} - 12,6 \cdot 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$
- koefisien muai pasta semen berkisar $10,8 \cdot 10^{-6} - 16,2 \cdot 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$
- koefisien muai agregat dan pasta semen mempengaruhi koefisien muai beton
- jika koefisien muai agregat dan pasta semen berbeda terlalu besar ($> 5,4 \cdot 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$), akibat perubahan suhu dapat menyebabkan terlepasnya lekatan antara agregat dengan pasta, sehingga beton mudah retak.

- b. **Panas Jenis** perlu diperhatikan pada pembuatan beton massa
- c. **Penghantaran Panas** perlu menjadi perhatian pada pengerjaan beton sebagai bahan isolator.

11. Zat-zat yang Berpengaruh Buruk Pada Beton

Pada pembuatan beton, keberadaan bahan-bahan yang mungkin memberikan pengaruh buruk terhadap kekuatan, kemudahan pengerjaan, dan kemampuan jangka panjang, yang disebut zat-zat pengganggu harus dihindari keberadaannya.

Ditinjau dari aksi dari zat-zat pengganggu yang berpengaruh buruk tersebut, dapat dibedakan menjadi :

- a. zat yang mempengaruhi proses hidrasi semen
- b. zat yang melapisi agregat sehingga mengganggu terbentuknya lekatan yang baik antara agregat dan pasta semen
- c. butiran-butiran yang tidak/kurang tahan cuaca, yang bersifat lemah dan menimbulkan reaksi kimia antara agregat dan pasta.

Zat organik umumnya berasal dari tanaman yang telah busuk dan muncul dalam bentuk humus. Kandungan organik ini lebih banyak terdapat pada agregat halus dan berinterferensi terhadap reaksi kimia hidrasi. **Lempung** atau bahan-bahan halus lainnya, seperti **silt** atau **debu pecahan batu** mungkin terdapat pada permukaan/melapisi permukaan agregat, sehingga dapat mengurangi lekatan antara agregat dengan pasta semen, dan berpengaruh pada kekuatan dan daya tahan beton. Lapisan yang lunak dan longgar dapat dihilangkan dengan pencucian, sedang lapisan yang bersifat stabil secara kimiawi dan melekat kuat pada agregat tidak dapat dihilangkan secara pencucian dan tidak berpengaruh terhadap lekatan, namun jika lapisan tersebut bersifat reaktif dapat menimbulkan masalah.

Silt atau **debu halus** dalam jumlah yang berlebihan akan menambah luas permukaan agregat, sehingga jumlah air yang dibutuhkan untuk membasahi semua butiran dalam campuran tersebut juga akan meningkat, berakibat menurunkan kekuatan dan daya tahan beton.

Pasir pantai atau muara sungai banyak mengandung garam (6%). Jika garam tidak diambil dengan pencucian menggunakan air tawar, dapat menyebabkan pengembangan dan korosi pada tulangan.

Shale dan butiran lain dengan **bj rendah**, tidak boleh terdapat pada pasir > 5% dan 1% pada kerikil, karena dapat memberikan pengaruh buruk pada beton.

Mika dalam agregat halus akan mengurangi kuat tekan beton.

Pyrites (tanah tambang yang mengandung belerang) dan **marcasite** merupakan bahan yang menyebabkan pemuaian yang sering terdapat pada agregat. Sulfida ini bereaksi dengan air dan oksida di udara mengakibatkan perubahan warna permukaan beton, menimbulkan retak dan kemudian lepas, kejadian ini pada kondisi udara panas dan udara lembab akan lebih terlihat.

12. Persyaratan Agregat

Agregat untuk bahan bangunan sebaiknya memenuhi persyaratan **SNI 03-6861.1-2002** sebagai berikut.

a. Persyaratan Agregat Halus

- 1) agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$

- 2) butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan
- 3) sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sbb,
 - a) jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%
 - b) jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%
- 4) agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan lumpur adalah bagian yang lolos saringan 0,060 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci
- 5) agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Herder. Untuk itu bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan diatas endapan warnanya tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan ini dapat juga digunakan, asal kuat tekan adukan dengan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% kekuatan adukan dengan agregat halus yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama

- 6) susunan butir agregat halus harus mempunyai modulus kehalusan butir antara 1,50 – 3,80, dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya, serta harus masuk salah satu daerah susunan butir/gradasi menurut zone/daerah gradasi 1, 2, 3 atau 4, dan harus memenuhi syarat-syarat sbb.
 - a) sisa di atas ayakan 4,80 mm, maksimum 2% berat
 - b) sisa di atas ayakan 1,20 mm, minimum 10% berat
 - c) sisa di atas ayakan 0,30 mm, minimum 15% berat
- 7) untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi terhadap alkali harus negatif
- 8) pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui
- 9) agregat halus yang dipergunakan untuk spesi plesteran dan spesi terapan (pasir pasang) harus memenuhi persyaratan di atas.

b. Persyaratan Agregat Kasar

- 1) agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Kadar bagian lemah bila diuji dengan goresan batang tembaga < 5%. Kekerasan diperiksa dengan bejana Rudeloff dengan beban pengujinya 20 ton atau mesin Los Angeles dengan syarat seperti tabel berikut

Persyaratan Kekerasan Agregat untuk Beton

Kekuatan Beton	Bejana Rudeloff		Mesin Los Angeles
	Maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 2 mm (persen)		Maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 1,7 mm (persen)
	Ukuran butir		
	19 - 30 mm	9,6 - 19 mm	
Kelas I ≤ 10 MPa	30	32	50
Kelas II 10 - 20 MPa	22	24	40
Kelas III > 20 MPa	14	16	27

- 2) agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih dan panjang hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih dan panjang tidak lebih dari 20% dari berat keseluruhan.
- 3) butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan
- 4) sifat kekal, apabila diuji dengan larutan garam sulfat sbb.
 - a. jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12%
 - b. jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%

- 5) agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali
- 6) agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur lebih dari 1%, maka agregat kasar harus dicuci
- 7) agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan tertentu, susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan butir antara 6 – 7,10. dan harus memenuhi syarat-syarat berikut :
 - a. sisa diatas ayakan 38 mm, harus 0% berat
 - b. sisa diatas ayakan 4,80 mm, harus berkisar antara 90 – 98% berat
 - c. selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
- 8) besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau tiga per empat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan. Penyimpangan dari pembatasan ini diijinkan apabila menurut penilaian pengawas ahli cara-cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa hingga menjamin tidak terjadi sarang-sarang kerikil.

Pengaruh Bentuk dan Tekstur Permukaan

- Agregat merupakan komponen terbesar (60 – 80%), sehingga merupakan komponen yang sangat berperan dan menentukan
- Karena itu sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada sifat-sifat beton ataupun mortar
- Untuk membuat beton berkualitas baik, digunakan agregat yang sedikitnya mempunyai dua kelompok ukuran ($\leq 4,76$ mm pasir dan $> 4,76$ mm agregat kasar)
- Sifat agregat yang mempengaruhi kualitas beton, antara lain **bentuk** dan **tekstur permukaan**
- Klasifikasi bentuk agregat : **bulat, tak beraturan, falky, angular, Elongated, dan falky-elongated.**
- Tekstur permukaan didasarkan pada drajat kekasaran permukaan partikel dan macam kekasarannya, di klasifikasi menjadi : **sangat halus** (glassy), **halus/licin** (smooth), **agak kasar/berbutir** (granular), **kasar** (rough), **berkristal** (crystalline), **berpori** (porous), dan **berlubang-lubang** (honeycombed).
- Ikatan antara agregat dan pasta semen sangat menentukan kekuatan beton. Ikatan ini disebabkan antara lain oleh *interlocking* agregat dengan pasta semen akibat kekasaran permukaan agregat. Permukaan yang lebih kasar menghasilkan gaya adhesif yang lebih besar antara agregat dengan semen.
- Efek relatif sifat agregat terhadap kekuatan beton, **bentuk** (kuat lentur 31%, tekan 22%), **tekstur permukaan** (kuat lentur 26%, tekan 44%).