

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Beton**

Menurut SNI 2847-2019, beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa campuran lain. Biasanya orang mempercayai bahwa beton mengering setelah pencampuran dan pengecoran, sebenarnya saat beton menjadi padat air tidak menguap, tetapi semen bereaksi terhadap air, merekatkan material lainnya bersama dan akhirnya membentuk seperti batu.

Biasanya beton digunakan untuk membuat pekerjaan struktur bangunan, pondasi, jembatan, gedung, jalan, dan infrastruktur lainnya karena kelebihanannya seperti kuat tekan tinggi, mudah dibentuk sebelum mengeras, dan tahan terhadap api dan cuaca. Namun, kualitas dan kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan penyusunnya, terutama air dan agregat yang digunakan.

Dalam penelitian ini, penggunaan pasir pantai dan air laut sebagai bahan alternative pada campuran beton menjadi hal penting untuk dikaji. Pasir pantai seringkali memiliki kandungan garam yang tinggi dan bentuk butiran yang lebih halus dan bulat, yang berpotensi mengurangi daya ikat antar partikel dan berdampak negative terhadap kuat tekan dan daya tahan beton. Sementara air laut mengandung ion klorida dan jika tidak dikendalikan dengan baik.

Oleh karena itu, konsep beton dalam penelitian ini tidak hanya bahan konstruksi, tetapi juga tergantung pada karakteristik bahan local terutama di daerah pesisir. Pemahaman ini memperkuat kebutuhan untuk analisis dan pengujian lebih dalam pada efek pasir pesisir dan air laut pada pengaruh pasir pantai dan air laut terhadap kuat tekan serta durabilitas beton, termasuk fenomena karbonasi yang bias mempercepat kerusakan struktur beton.

##### **2.1.1. Sifat Umum Beton**

Secara umum, beton memiliki kuat tekan tinggi yang menjadikan material utama dalam elemen struktural seperti kolom dan pondasi. Namun, beton memiliki kelemahan dalam kuat tarik rendah, sehingga sering diperkuat dengan tulangan baja untuk meningkatkan daya tahan terhadap gaya tarik. Modulus elastisitas beton menentukan seberapa besar beton dapat mengalami deformasi akibat eksternal. Semakin tinggi elastisitas, semakin kecil perubahan bentuk beton saat diberi beban.

Berikut beberapa sifat umum yang dimiliki beton :

##### **a) *Workability***

Workability diartikan sebagai tingkat kemudahan dalam pengerjaan campuran beton, yang mencakup proses pengadukan, penempatan (pengecoran), pengangkutan, hingga pemadatan. Workability menjadi salah satu parameter paling penting dalam desain campuran beton karena berpengaruh langsung terhadap kemudahan pelaksanaan konstruksi serta kualitas hasil akhir dari beton itu sendiri. Beton dengan workability yang baik akan lebih mudah diolah di lapangan tanpa mengalami segregasi (pemisahan agregat) atau bleeding (keluarnya air berlebih), sehingga menghasilkan struktur yang padat, kuat, dan homogen.

Menurut Mulyono (2015), terdapat beberapa faktor utama yang mempengaruhi tingkat workability beton. Pertama, adalah jumlah air dalam campuran. Semakin banyak air yang digunakan, beton segar akan semakin mudah dikerjakan, tetapi kelebihan air dapat menurunkan kekuatan beton. Kedua, penambahan semen dapat meningkatkan kemudahan pengerjaan beton,

karena biasanya diikuti dengan penambahan air untuk menjaga rasio faktor air-semen tetap stabil. Ketiga, gradasi agregat baik halus (pasir) maupun kasar (kerikil) sangat menentukan kemudahan pengerjaan—gradasi yang sesuai standar akan menghasilkan campuran yang lebih stabil dan mudah dipadatkan.

Selanjutnya, penggunaan butiran agregat yang berbentuk bulat juga dapat meningkatkan workability karena gesekan antar butiran lebih kecil dibanding agregat bersudut. Ukuran maksimum butiran agregat kasar juga berpengaruh—semakin besar ukurannya, semakin sulit untuk dicampur dan dipadatkan, terutama pada beton dengan banyak tulangan. Metode pemadatan (manual, vibrator, atau lainnya) juga turut menentukan karakteristik akhir beton. Selain itu, kadar udara dalam beton segar dan penggunaan bahan tambahan (*admixture*) seperti superplasticizer juga memiliki pengaruh besar terhadap workability

b) Pemisahan agregat kasar (Segregasi)\

Segregasi adalah salah satu permasalahan dalam beton segar yang mengacu pada terpisahnya agregat kasar dari campuran beton, sehingga menyebabkan distribusi material tidak homogen. Kondisi ini mengakibatkan bagian bawah campuran menjadi terlalu kaya akan agregat kasar, sementara bagian atas mengandung lebih banyak pasta semen dan air. Jika dibiarkan, segregasi dapat menyebabkan penurunan kekuatan, porositas tinggi, retak dini, dan korosi pada tulangan, karena beton menjadi tidak padat dan tidak menyatu secara merata (Neville, 2012).

Pada dasarnya, segregasi adalah proses penurunan agregat kasar ke bagian bawah beton segar, atau terpisahnya agregat dari campuran akibat cara penuangan dan pemadatan yang tidak baik. Kondisi ini sering terjadi karena pengaruh berat jenis agregat kasar yang lebih tinggi dibanding pasta semen, terlebih jika beton terlalu cair atau penggunaan agregat terlalu besar (Mulyono, 2015).

Beberapa faktor utama penyebab segregasi antara lain:

1. Campuran kekurangan atau kelebihan air – Kekurangan air menyebabkan beton menjadi terlalu kaku dan sulit diaduk, sementara kelebihan air membuat campuran menjadi terlalu encer sehingga partikel-partikel kasar mudah tenggelam.
2. Kurangnya jumlah agregat halus (pasir) – Agregat halus berfungsi sebagai pengisi celah antara agregat kasar. Jika jumlahnya tidak mencukupi, kohesi beton berkurang dan agregat kasar mudah terpisah.
3. Ukuran agregat yang terlalu besar (>25 mm) – Agregat besar memiliki massa lebih berat dan cenderung turun ke bawah bila tidak didukung oleh pasta semen yang cukup kental dan kohesif.

Selain itu, segregasi juga bisa diperparah oleh:

- Penuangan beton dari ketinggian tanpa bantuan selang atau talang,
- Penggunaan alat pemadat seperti vibrator secara berlebihan,
- Waktu pencampuran yang terlalu singkat atau terlalu lama,
- Komposisi campuran yang tidak seimbang antara air, semen, dan agregat.

Untuk mencegah terjadinya segregasi, diperlukan pengendalian terhadap komposisi campuran, gradasi agregat, serta teknik penuangan dan pemadatan yang tepat. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan pasir pantai dan air laut berpotensi mempengaruhi kestabilan beton

segar, karena tekstur pasir pantai yang lebih halus dan bulat dapat menurunkan kohesi, serta kandungan garam pada air laut dapat memengaruhi viskositas dan konsistensi campuran beton.

c) Pemisahan Air (*Bleeding*)

Bleeding pada beton adalah peristiwa naiknya air ke permukaan beton segar setelah proses pemadatan, yang terjadi akibat pergerakan air bebas dari dalam adukan beton ke atas melalui celah-celah di antara partikel agregat. Fenomena ini merupakan salah satu bentuk ketidakhomogenan campuran yang dapat memengaruhi kualitas akhir beton (Neville, 2012).

Bleeding terjadi karena beton mengandung air berlebih yang tidak seluruhnya terikat dalam proses hidrasi semen. Ketika beton mulai mengendap dan dipadatkan, air bebas yang tidak ikut bereaksi akan terdorong ke permukaan. Bersama air tersebut, naik pula butiran semen dan pasir halus yang kemudian membentuk lapisan tipis di atas permukaan beton yang disebut laitance (Mulyono, 2015).

Lapisan laitance ini bersifat lemah dan mudah retak, serta menjadi penghalang ikatan antara lapisan beton di bawahnya dan lapisan beton yang baru dituang di atasnya, khususnya pada beton bertahap (*layered casting*). Akibatnya, dapat terjadi delaminasi atau pemisahan antara lapisan, yang berisiko menurunkan kekuatan struktural dan daya tahan beton.

Dalam banyak kasus, bleeding juga dapat menyebabkan pengeringan tidak merata, retak rambut (*plastic shrinkage cracks*), serta penurunan kualitas permukaan jika tidak segera ditangani. Gejala bleeding umumnya terlihat sesaat setelah pencetakan beton, berupa genangan air di permukaan beton segar, terutama pada campuran yang mengandung air berlebih atau kurang agregat halus.

Faktor-faktor yang menyebabkan bleeding antara lain:

1. Kandungan air yang terlalu tinggi dalam campuran beton
2. Kurangnya jumlah semen atau bahan pengikat
3. Gradasi agregat yang buruk, terutama kekurangan agregat halus
4. Penggunaan agregat kasar berukuran besar
5. Proses pemadatan yang tidak sempurna

Untuk mengurangi bleeding, diperlukan penyesuaian rasio air-semen yang optimal, penggunaan admixture seperti superplasticizer, pemilihan agregat dengan gradasi seimbang, serta pemadatan yang tepat sesuai standar konstruksi. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan air laut dan pasir pantai dapat meningkatkan risiko bleeding, karena keduanya memiliki karakteristik khusus yang berpengaruh pada kohesi dan viskositas beton segar.

d) Tahan Lama (*Durability*)

Salah satu sifat penting dari beton adalah modulus elastisitas, yang menggambarkan kemampuan beton dalam menahan deformasi akibat beban. Beton dengan modulus elastisitas tinggi akan mengalami deformasi yang lebih kecil saat dibebani. Selain itu, beton segar memiliki sifat *workability*, atau kemudahan dalam dituang dan dipadatkan. *Workability* sangat dipengaruhi oleh gradasi agregat, rasio air-semen, dan jenis air yang digunakan

### 2.1.2. Sifat Fisik Material Beton

a. Berat Jenis

Berat jenis beton adalah perbandingan antara berat satuan volume beton terhadap berat satuan volume air pada suhu 4°C, di mana pada suhu tersebut air memiliki berat jenis maksimum sebesar 1 gram/cm<sup>3</sup>. Beton merupakan material komposit yang terdiri dari beberapa

komponen, seperti semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air. Oleh karena itu, nilai berat jenis beton ditentukan oleh kombinasi berat jenis dari masing-masing bahan penyusunnya.

$$\gamma_c = \frac{w}{v} \quad (2.1)$$

Dimana :

$\gamma_c$  = berat jenis (gr/cm<sup>3</sup>)

W = berat beton (gr)

V = volume silinder beton (cm<sup>3</sup>)

Tabel 2. 1 Berat jenis beton untuk berbagai jenis agregat (ASTM 330)

Type beton	Berat satuan agregat (lb/ft <sup>3</sup> )	Berat jenis beton (lb/ft <sup>3</sup> )
Beton insulasi	15 – 50	20 – 90
Beton ringan struktural	40 – 70	90 – 110
Beton normal	70 – 110	130 – 160
Beton sangat berat	>135	180 – 380

b. Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan kemampuan material penyusun beton, khususnya agregat, dalam menyerap air saat terendam. Tingkat penyerapan air ini dapat memengaruhi rasio air-semen (water-cement ratio) dalam campuran beton, yang pada akhirnya berdampak pada kuat tekan serta ketahanan (durabilitas) beton itu sendiri. Penyerapan air pada beton umumnya dihitung menggunakan rumus tertentu yang mengacu pada perubahan berat sebelum dan sesudah perendaman.

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{\text{Berat Basah Agregat} - \text{Berat Kering Agregat}}{\text{Berat Kering Agregat}} \times 100 \quad (2.2)$$

c. Kadar air

Kadar air dalam beton merupakan rasio antara berat air yang digunakan dalam campuran beton terhadap berat semen. Nilai ini biasanya dinyatakan sebagai bagian dari rasio air-semen (water-cement ratio), yang memegang peranan penting dalam perancangan campuran beton untuk mencapai kekuatan dan kualitas yang optimal. Kadar air tersebut dihitung menggunakan rumus tertentu yang menggambarkan hubungan langsung antara jumlah air dan semen dalam campuran.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Semen}} \times 100 \quad (2.3)$$

Semakin tinggi jumlah air yang digunakan dalam campuran beton (yang berarti rasio air-semen lebih besar), maka kuat tekan beton cenderung menurun. Sebaliknya, penggunaan rasio air-semen yang rendah akan menghasilkan beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi. Kandungan air yang tinggi memang dapat meningkatkan kelecakan dan memudahkan proses



pengerjaan beton, tetapi hal tersebut berisiko mengurangi kekuatan beton secara keseluruhan. Di sisi lain, kadar air yang terlalu rendah akan membuat beton menjadi terlalu kental, sehingga sulit diolah dan dapat berdampak negatif pada hasil akhir. Beton dengan kadar air rendah umumnya memiliki struktur yang lebih padat dan lebih tahan terhadap penetrasi air maupun zat kimia, sedangkan beton dengan kadar air tinggi cenderung lebih berpori dan mudah rusak.

Adapun kadar air dalam agregat juga perlu diperhatikan. Kandungan air dalam agregat yang berada pada kisaran 5% hingga 15% menunjukkan bahwa agregat tersebut memiliki kelembaban yang melebihi batas ideal untuk campuran beton. Kondisi ini biasanya terjadi pada agregat alami yang belum mengalami proses pengeringan sempurna atau baru diambil dari sumber alam. Untuk memastikan rasio air-semen tetap akurat, kadar air agregat idealnya tidak melebihi 5%, sementara kadar air maksimum sebesar 2% lebih disarankan agar pengendalian kualitas campuran beton menjadi lebih optimal. Jika agregat memiliki kadar air lebih dari 5%, maka perlu dilakukan penyesuaian dalam perhitungan campuran agar beton yang dihasilkan tetap memiliki kekuatan dan daya tahan yang sesuai dengan standar.

#### d. Analisis saringan

Analisis saringan merupakan metode pengujian laboratorium yang digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butir atau partikel dalam material granular seperti pasir, agregat halus, dan agregat kasar. Metode ini memiliki peran penting dalam dunia konstruksi, khususnya dalam perancangan campuran beton, campuran aspal, serta material bangunan lainnya yang memerlukan pengendalian terhadap ukuran partikel guna menjamin kualitas campuran yang dihasilkan.

Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk menentukan persentase atau proporsi tiap ukuran partikel yang terkandung dalam material yang diuji. Data hasil analisis saringan digunakan sebagai dasar dalam menilai apakah material tersebut telah memenuhi standar teknis dan spesifikasi yang disyaratkan untuk penggunaannya dalam beton, aspal, maupun aplikasi teknik sipil lainnya.

## 2.2 Bahan Penyusun Beton

### 2.2.1. Agregat halus

Agregat halus adalah jenis agregat yang dapat melewati saringan berukuran 4,75 mm (No.4). Berdasarkan standar SK SNI S-04-1989-F, agregat halus harus memiliki butiran yang keras dan tidak berpori, serta mampu bertahan terhadap cuaca ekstrem dan pengaruh bahan kimia seperti natrium sulfat (maks. 12%) dan magnesium sulfat (maks. 18%). Kandungan lumpur tidak boleh melebihi 5%, dan agregat juga harus bebas dari zat yang bereaksi terhadap alkali. Bentuk butiran pipih dan memanjang harus dibatasi hingga 20%, dengan modulus kehalusan berada dalam rentang 1,5–3,8. Ukuran butir agregat halus juga harus disesuaikan dengan dimensi cetakan beton dan jarak antar tulangan. Penggunaan pasir laut sebagai agregat halus diperbolehkan apabila telah mendapat persetujuan dari lembaga pengujian yang berwenang.

### 2.2.2. Semen Portland

Semen Portland merupakan bahan perekat hidrolik yang diperoleh dari penggilingan clinker, yang didominasi oleh senyawa silikat kalsium, dengan penambahan gipsum untuk mengatur waktu ikat. Fungsinya dalam beton adalah untuk menyatukan butiran agregat menjadi satu kesatuan massa padat dan kuat. Beberapa senyawa penting dalam semen Portland meliputi

trikalsium silikat ( $C_3S$ ), dikalsium silikat ( $C_2S$ ), trikalsium aluminat ( $C_3A$ ), dan tetrakalsium aluminoferrit ( $C_4AF$ ).

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1982), jenis semen yang digunakan harus sesuai dengan standar SII D013-81 dan Standar Umum Bahan Bangunan Indonesia 1986. Jika menggunakan semen pozolan, maka harus sesuai dengan SII 0132 atau ASTM C595. Terdapat 5 jenis semen Portland, yaitu:

1. Tipe I (*Ordinary Portland Cement*) untuk keperluan umum tanpa syarat khusus. Digunakan pada konstruksijalan, bangunan gedung atau perumahan, jembatan, tangki, waduk, dan pipa
2. Tipe 2 (*Modified Portland Cement*), digunakan di lingkungan dengan kadar sulfat sedang.
3. Tipe 3 (*Cement Portland High Early Strength*), kekuatan awal tinggi, cocok untuk struktur yang perlu cepat dibuka atau diperbaiki.
4. Tipe 4 (*Lowheat Portland Cement*), panas hidrasi rendah, digunakan untuk konstruksi besar seperti bendungan
5. Tipe 5 (*Sulphate Resistant Portland Cement*), sangat tahan terhadap sulfat, ideal untuk lingkungan agresif seperti instalasi pengolahan limbah

### 2.2.3. Air

Air dalam campuran beton berperan penting dalam proses hidrasi semen dan sebagai pelumas untuk mempermudah pencampuran dan pemadatan agregat. Air yang digunakan harus bebas dari kandungan bahan berbahaya seperti minyak, garam, dan zat organik yang dapat memengaruhi mutu beton. Menurut Tjokrodinuljo (2012), air campuran beton sebaiknya memenuhi syarat seperti tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gr/liter, klorida tidak lebih dari 0,5 gr/liter, dan sulfat tidak lebih dari 1 gr/liter. Air yang berkualitas buruk dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton dan perubahan karakteristik beton yang tidak diinginkan.

### 2.2.4. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan kerikil alami atau hasil pemecahan batu berukuran antara 5 mm hingga 40 mm. Fungsinya adalah sebagai bahan pengisi utama dalam campuran beton. Menurut SK SNI T-15-1991 dan ASTM C33, agregat kasar harus memiliki kekerasan yang memadai (dengan kehilangan berat maksimal 50% pada uji abrasi), berat jenis antara 2,5–2,7 gr/cm<sup>3</sup>, serta kandungan lumpur tidak lebih dari 1%. Selain itu, bentuk agregat idealnya kubikal agar memberikan ikatan mekanik yang lebih baik. Agregat kasar yang porositasnya rendah cenderung menghasilkan beton dengan kuat tekan dan workability yang seragam.

## 2.3 Pasir Pantai

Pasir pantai adalah material agregat halus yang berasal dari daerah pesisir dan umumnya memiliki kandungan garam yang cukup tinggi. Pasir pantai memiliki karakteristik butiran lebih halus dibandingkan pasir sungai, namun penggunaannya dalam campuran beton harus diperhatikan karena kandungan garam yang berlebih dapat menyebabkan korosi pada tulangan beton

## 2.4 Reaksi Kimia Penyusun Beton

Beton terbentuk dari hasil reaksi kimia antara semen, air, dan agregat. Reaksi kimia yang terjadi sangat menentukan perkembangan kuat tekan, keawetan (*Durability*), serta sifat – sifat mekanis beton. Secara umum, reaksi kimia dalam beton dapat dijelaskan sebagai berikut :

### 1. Reaksi Semen + Air (Hidrasi Semen)

Semen Portland terdiri atas senyawa utama berupa Trikalsium Silikat ( $C_3S$ ), Dikalsium Silikat ( $C_2S$ ), Trikalsium Aluminat ( $C_3A$ ), dan Tetrakalsium Aluminoferrit ( $C_4AF$ ). Ketika

bercampur dengan air, senyawa tersebut mengalami hidrasi dan menghasilkan produk reaksi berupa kalsium silikat hidrat (C-S-H) dan Kalsium Hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>).

Reaksi utama dapat dituliskan sebagai berikut:

- $2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 \text{ (C-S-H)} + 3CH$
- $2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 \text{ (C-S-H)} + CH$

Produk C-S-H berperan besar dalam memberikan kekuatan beton, sedangkan Ca(OH)<sub>2</sub> meningkatkan Alkalinitas tetapi rentan terhadap karbonasi dan serangan kimia eksternal.

## 2. Reaksi Semen + Agregat

Secara umum, agregat berfungsi sebagai pengisi inert (tidak bereaksi), namun dalam kondisi tertentu dapat terjadi reaksi antara semen dengan agregat. Reaksi yang paling terkenal adalah *Alkali-Silika Reaction* (ASR), yaitu reaksi antara alkali dalam semen () dengan silika reaktif pada agregat. Reaksi ini menghasilkan gel alkali-silikat yang menyerap air, mengembang, dan menimbulkan retak mikro pada beton.

## 3. Reaksi Agregat + Air

Agregat normal seperti pasir sungai dan kerikil tidak bereaksi signifikan dengan air. Namun, agregat yang memiliki porositas tinggi dapat menyerap air dan memengaruhi rasio factor air-semen (*w/c ratio*). Pada penggunaan pasir pantai, adanya kandungan garam terlarut (NaCl, MgCl<sub>2</sub>, dll) dapat ikut larut dalam air dan berinteraksi dengan senyawa hasil hidrasi semen.

## 4. Reaksi Semen + Pasir Pantai

Pasir pantai umumnya mengandung garam dan mineral terlarut. Kandungan klorida (Cl<sup>-</sup>) dapat bereaksi dengan senyawa aluminat dalam semen, menghasilkan senyawa baru seperti *Friedel's salt* ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ ). Reaksi ini dapat mempercepat pengerasan awal, namun dalam jangka Panjang meningkatkan resiko korosi pada baja tulangan. Selain itu, bentuk butir antara pasir pantai yang halus dan bulat dapat menurunkan ikatan mekanis antara pasta semen dan agregat.

## 5. Reaksi Semen + air laut

Air laut mengandung ion-ion seperti Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Ion – ion ini berinteraksi dengan hasil hidrasi semen, misalnya:

- Ion Cl<sup>-</sup> bereaksi dengan C<sub>3</sub>A membentuk *Friedel's Salt*.
- Ion Mg<sup>2+</sup> dapat menggantikan Ca<sup>2+</sup> dalam C-S-H, membentuk Mg(OH)<sub>2</sub> (*Brusit*) yang kurang kuat dan dapat merusak struktur pasta semen
- Ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dapat menyebabkan pembentukan *Ettringite* sekunder yang menimbulkan ekspansi dan retak.

## 6. Reaksi Air Laut + Pasir Pantai + Semen (SWSSC)

Kombinasi penggunaan pasir pantai dan air laut dalam beton dikenal sebagai *Seawater Sea-Sand Concrete* (SWSSC). Beton jenis ini memiliki karakteristik :

- Kekuatan awal meningkat, karena ion klorida mempercepat hidrasi C<sub>3</sub>S (*Tricalcium Silikat*).
- Kekuatan jangka Panjang berpotensi menurun, akibat pembentukan produk hidrasi yang kurang stabil dan resiko ekspansi garam.

- Durabilitas terhadap korosi menurun, karena porositas yang lebih tinggi dan kandungan klorida yang mempercepat korosi tulangan.

## **2.5 Metode Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)**

### **2.5.1. Metode ACI (American Concrete Institute)**

Metode ACI adalah salah satu metode paling umum yang digunakan dalam merancang campuran beton, dan menjadi acuan dalam SNI 7656:2012. ACI merekomendasikan tahapan sistematis untuk menentukan proporsi bahan beton berdasarkan kuat tekan rencana, kebutuhan workability, serta kondisi eksposur lingkungan. Tahapan inti dari metode ACI meliputi:

1. Menentukan mutu beton rencana ( $f'_c$ ).
2. Memilih nilai slump sesuai kebutuhan aplikasi (misal 75 – 100 mm untuk pekerjaan struktur umum).
3. Menentukan ukuran maksimum agregat kasar berdasarkan jarak antar tulangan atau dimensi cetakan.
4. Menentukan rasio air-semen (w/c) berdasarkan mutu beton dan ketahanan terhadap sulfat atau karbonasi.
5. Menentukan jumlah air dan semen dari data tabel empiris ACI.
6. Menghitung kebutuhan agregat kasar dan halus berdasarkan volume absolut dan berat jenis masing-masing bahan.
7. Melakukan penyesuaian terhadap kadar air dalam agregat, dan mengoptimalkan campuran dengan *trial mix*

### **2.5.2. Metode DoE (*Design of Experiment*)**

Metode Design of Experiment (DoE) merupakan pendekatan statistik dalam perancangan campuran beton, yang memungkinkan periset untuk mengevaluasi pengaruh berbagai faktor campuran beton secara bersamaan, seperti jumlah semen, kadar air, agregat halus, dan agregat kasar terhadap hasil seperti kuat tekan dan workability.

Dalam penelitian ini, metode DoE digunakan untuk merancang variasi campuran beton berdasarkan:

1. Jenis air (air laut atau air tawar)
2. Jenis pasir (pasir pantai atau pasir biasa)
3. Metode curing (perendaman dalam air tawar atau air laut)

Keunggulan metode DoE:

1. Mampu mengurangi jumlah eksperimen fisik tanpa kehilangan kualitas data.
2. Dapat memetakan interaksi antar faktor, misal bagaimana kombinasi pasir pantai + air laut + curing memengaruhi kuat tekan.
3. Efisien dalam menguji hipotesis teknis tentang material lokal yang digunakan di daerah pesisir



