

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 **Beton Non Pasir**

Beton non pasir (*no fines concrete*) ialah suatu bentuk sederhana dari jenis beton ringan yang dalam pembuatannya tidak dengan agregat halus. Tidak adanya agregat halus dalam campuran menghasilkan beton yang berpori (yang semula diisi agregat halus) sehingga beratnya berkurang. Pori-pori di dalam beton tersebut mencapai 20 sampai 25 persen (Tjokrodimuljo, 2012).

Umumnya campuran beton non pasir terdiri atas 270-415 kg/m³ material pengikat atau semen dan faktor air semen yang berkisar antara 0,26-0,40. Berat jenis beton non pasir berkisar antara 1500-2200 kg/m³, kuat tekan beton pada umur 28 hari berkisar antara 2,8-28 MPa, dengan porositas antara 15-30 %, dan koefisien permeabilitas yang berkisar antara 0,14-1,22 cm/s (Güneyisi dkk, 2016)

3.2 **Material Penyusun Beton Non Pasir**

3.2.1 ***Semen Portland***

Semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004).

Menurut Nawy (1990) bahan baku pembentuk semen adalah :

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO_2) – dari lempung,
3. Alumina (Al_2O_3) – dari lempung,

(dengan sedikit persentase magnesia, MgO , dan terkadang sedikit alkali).

Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya.

Semen portland dibagi lagi sesuai dengan jenis dan kegunaannya. Menurut SNI 15-2049-2004 berikut ini beberapa jenis semen portland.

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.2 Agregat Kasar

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in (6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya (Nawy, 1990).

Agregat kasar yang dipakai pada beton non pasir umumnya yang gradasi seragam dan agregat dengan ukuran antara $\frac{3}{4}$ dan $\frac{3}{8}$ in (19 dan 9,5 mm). Baik agregat bulat maupun batu pecah dapat digunakan sebagai agregat kasar beton non pasir (ACI 522R-06).

Menurut SNI 03-2847-2002 agregat kasar harus memenuhi beberapa persyaratan berikut ini.

1. Agregat untuk beton harus memenuhi salah satu dari ketentuan berikut:
 - a) “Spesifikasi agregat untuk beton” (ASTM C 33).
 - b) SNI 03-2461-1991, Spesifikasi agregat ringan untuk beton struktur.
2. Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi:
 - a) $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan, ataupun
 - b) $\frac{1}{3}$ ketebalan pelat lantai, ataupun
 - c) $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, bundel tulangan, atau tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.

3.2.3 Air

Menurut Tjokrodimuljo (2012) air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air untuk campuran beton minimal yang memenuhi persyaratan air minum, akan tetapi bukan berarti air untuk campuran beton harus memenuhi

standar air minum. Penggunaan air sebagai bahan campuran beton sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut :

1. air harus bersih,
2. tidak mengandung lumpur, minyak dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter,
3. tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter,
4. tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter,
5. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

3.3 Fly Ash (Abu Terbang)

Menurut SNI 06-6867-2002, abu terbang adalah sisa hasil pembakaran serbuk batu bara dari tungku pembangkit tenaga uap yang terbawa gas buangan cerobong asap. Dalam pembagian tipenya abu terbang dibedakan dalam beberapa kelas.

1. Abu terbang kelas F adalah abu terbang yang di hasilkan dari pembakaran batu bara jenis atrasit pada suhu 15600 C, abu terbang ini memiliki sifat pozzolan.
2. Abu terbang kelas N adalah hasil kalsinasi dari pozolan alam seperti tanah diatonice, shale (serpih), tuft, dan batu apung yang beberapa jenis dari bahan tersebut ada yang tidak mengalami kalsinasi.

3. Abu terbang kelas C adalah abu terbang yang di hasilkan dari pembakaran lignit atau batu bara dengan kadar carbon + 60% (Subbitomious), abu terbang ini mempunyai sifat pozzolan dan menyerupai semen dengan kadar kapur di atas 10% .

Dalam ACI 232.2R-96 disebutkan persyaratan kandungan kimia dalam *fly ash* yakni, SiO_2 (35 sampai 60 persen), Al_2O_3 (10 sampai 30 persen), Fe_2O_3 (4 sampai 20 persen), dan CaO (1 sampai 35 persen). *Fly ash* diklasifikasikan dalam kelas F jika total SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 melebihi 70 persen. Namun, jika totalnya hanya melebihi 50 persen tetapi kurang dari 70 persen dan kandungan CaO melebihi 20 persen, *fly ash* dapat diklasifikasikan dalam kelas C.

Menurut Bremseth (2009) beton dengan *fly ash* lebih *workable* dibandingkan beton dengan semen. Dengan nilai fas yang kecil, beton dengan *fly ash* dapat memiliki nilai *slump* yang sama dengan beton dengan semen dengan fas yang lebih besar. Sedangkan, semakin kecil fas dapat meningkatkan kohesi dan menghindari terjadinya segregasi.

3.4 Faktor Air Semen

Nawy (1990) menjelaskan bahwa karena faktor air semen merupakan ukuran kekuatan beton maka faktor ini harus menjadi kriteria yang utama dalam desain struktur beton pada umumnya. Biasanya faktor air semen dinyatakan dalam perbandingan berat air terhadap berat semen dalam campuran.

Faktor air semen pada beton non pasir berkisar antara 0,36 dan 0,46. Perkiraan faktor air semen tidak dapat terlalu besar (beton biasa dari 0,35-0,6)

karena jika faktor air semen terlalu besar maka pasta semennya tidak dapat cukup menyelimuti butir-butir agregat kasarnya, dan jika faktor air semennya terlalu tinggi maka pasta semen akan terlalu encer sehingga pada waktu pemadatan pasta semen mengalir ke bawah (tidak lagi menyelimuti butir-butir semen). Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat tekan maksimum untuk suatu nilai perbandingan agregat tertentu (Tjokrodimuljo, 2012).

3.5 Agregat Daur Ulang

Berdasarkan penelitian sebelumnya, kualitas agregat daur ulang ditentukan dari tingkat penyerapan airnya. Tingginya daya resap agregat mengindikasikan masih banyak mortar semen yang masih terkandung dalam agregat tersebut. Agregat daur ulang dengan daya resap yang tinggi umumnya berdampak pada beton dengan kekuatan yang rendah, ketahanan, deformasi, dan susut yang tinggi (Tam dkk, 2005).

Neville dan Brooks, (2010) memberikan beberapa hal sebagai pertimbangan dalam menggunakan agregat daur ulang.

1. Karena agregat daur ulang masih terdapat mortar dari beton yang lama, maka berat jenis beton dengan agregat daur ulang lebih rendah dari beton konvensional.
2. Akibat masih adanya mortar dari beton lama, beton dengan agregat daur ulang memiliki porositas dan daya resap air yang tinggi.

3. Daya resap air yang tinggi pada beton dengan agregat daur ulang dapat diatasi dengan membuat agregat daur ulang dalam keadaan jenuh air sebelum *mixing*.
4. Kuat tekan beton yang baru bergantung pada kekuatan dari beton lama yang digunakan sebagai agregat daur ulang.
5. Pengurangan kuat tekan beton dalam jumlah besar bisa diakibatkan oleh substitusi penggunaan agregat halus alam dengan agregat halus dari agregat halus daur ulang.
6. Ketahanan beton dengan agregat daur ulang terhadap beku dan cair bergantung pada rongga udara dan kekuatan dari beton lama yang dijadikan agregat.
7. Penggunaan bahan kimia, *air entraining*, dan *mineral admixtures* tidak memberikan perubahan secara signifikan terhadap *properties* beton dengan agregat daur ulang.

3.6 Two Stage Mixing Approach (TSMA)

Tam dkk, (2005) melakukan penelitian terhadap beton dengan agregat daur ulang yang menggunakan metode *Two Stage Mixing Approach (TSMA)*. Pada metode TSMA proses pencampuran beton dibagi menjadi dua bagian dengan waktu pencampuran yang berbeda. Masing-masing bagian menggunakan setengah dari jumlah air yang dibutuhkan pada pencampuran beton. Alasan membagi proses pencampuran menjadi dua bagian adalah pada saat pencampuran beton yang pertama, akan terbentuk lapisan tipis dari pasta semen yang akan melapisi

permukaan agregat daur ulang yang masih terdapat mortar semen dan mengisi retakan lama dan *void* yang terjadi selama proses penghancuran beton. Proses *mixing* dilanjutkan dengan menggunakan sisa air yang dibutuhkan.

Berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa metode TSMA mampu meningkatkan *interfacial zones* (ITZ) antara agregat daur ulang dengan pasta semen. ITZ merupakan suatu zona kontak atau reaksi antarmuka antara agregat daur ulang dan pasta semen. ITZ pada beton dengan agregat daur ulang menjadi lebih kompleks karena akan terjadi dua reaksi antarmuka, yang pertama antara agregat daur ulang dengan mortar semen yang baru (*New ITZ*) dan antara agregat daur ulang dengan mortar semen yang lama (*Old ITZ*). Kuatnya ITZ sangat bergantung pada karakteristik permukaan agregat daur ulang tersebut. Metode TSMA dapat memperbaiki karakteristik permukaan agregat daur ulang dan meningkatkan ITZ.

3.7 Kuat Tekan

Berdasarkan SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton mengalami kehancuran bila dibebani. Rumus kuat tekan adalah sebagai berikut.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3-1)$$

dengan,

- $f'c$ = kuat tekan beton (N/mm²)
- P = beban tekan maksimum (N)
- A = luas bidang tekan benda uji (mm²)

3.8 Porositas

Porositas merupakan volume pori dalam campuran yang telah dipadatkan atau banyaknya rongga udara yang berada dalam campuran beton non pasir. Xu dkk, (2018) menjelaskan terdapat dua jenis porositas pada beton non pasir, yakni porositas total dan porositas efektif. Porositas total didefinisikan sebagai perbandingan total pori-pori baik yang tertutup maupun yang saling berhubungan terhadap volume benda uji. Sedangkan porositas efektif merupakan perbandingan pori-pori yang saling berhubungan terhadap volume benda ujinya.

Menurut Xu dkk, (2018) untuk menghitung porositas efektif beton non pasir dapat menggunakan rumus berikut.

$$ve = \left[1 - \left(\frac{m1 - m2}{v \times \rho_w} \right) \right] \times 100\% \quad (3-2)$$

dengan,

- ve = porositas efektif (%)
- $m1$ = berat benda uji kering oven selama 24 jam (g)
- $m2$ = berat benda uji jenuh air dalam air (g)
- ρ_w = berat jenis air (g/cm^3)
- v = volume benda uji (cm^3)

3.9 Permeabilitas

Permeabilitas beton adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Pengukuran terhadap permeabilitas beton non pasir menggunakan *falling head permeameter*.

Rumus untuk menghitung koefisien permeabilitas dengan menggunakan hukum Darcy sebagai berikut (Sriravindrarajah dkk, 2012).

$$k = \left(\frac{a \times L}{A \times t} \right) \ln \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \quad (3-3)$$

dengan,

- k = koefisien permeabilitas (mm/s)
 a = luas pipa (mm²)
 L = tinggi benda uji (mm)
 A = luas permukaan benda uji (mm²)
 t = waktu air turun dari h_0 ke h_1 (s)
 h_0 = tinggi air awal (mm)
 h_1 = tinggi air akhir (mm)

3.10 Analisis Data Statistik

3.10.1 *Analysis of Variance* (ANOVA)

Menurut Sunyoto (2009) ANOVA digunakan untuk menguji lebih dari dua rata-rata populasi, apakah mempunyai rata-rata yang sama atau berbeda yang masing-masing dituangkan ke dalam hipotesis nihil (H_0) dan hipotesis alternatif (H_a). Analisis varians disebut juga Uji F atau distribusi F yang dikembangkan oleh RA. Fisher tahun 1920 (Sunyoto, 2009). Proses pengujian analisis variansi atau Uji F yakni penentuan H_0 dan H_a , menentukan taraf keyakinan, kriteria pengujian, pengujian, dan kesimpulan.

3.10.2 Jenis ANOVA

Berikut ini beberapa jenis ANOVA.

1. Analisis Variasi Satu Arah (*One Way Analisis of Variance*)

Analisis satu arah digunakan untuk menguji perbedaan antara dua kelompok atau lebih dengan satu variabel yang mempengaruhi atau *Independent variabel*.

2. Analisis Variasi Dua Arah (*Two Way Analysis of Variance*)

Menurut Sunyoto (2009) analisis ini digunakan untuk menguji efek klasifikasi baris (α) dan efek klasifikasi kolom (β), dimana klasifikasi baris maupun kolom merupakan dua variabel yang berbeda. Yang dimaksud dengan klasifikasi kolom dan baris adalah terdapat dua variabel yang mempengaruhi atau *Independent variabel*. Dengan demikian dapat diketahui apakah terdapat pengaruh pengelompokan atau klasifikasi yang berbeda tersebut.

3.10.3 Langkah pengujian analisis variasi dua arah

Menurut Sunyoto (2009) berikut langkah-langkah dalam pengujian analisis variasi dua arah.

1. Menentukan H_0 dan H_a

H_0 : $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_k = 0$ (variansi kolom sama)

$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0$ (variansi baris sama)

H_a : $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \dots \neq \alpha_k \neq 0$ (variansi kolom tidak sama)

$\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \dots \neq \beta_k \neq 0$ (variansi baris tidak sama)

2. Menentukan taraf keyakinan (5% atau 1%) dan F_a tabel dan F_b tabel

3. Kriteria pengujian

H_0 diterima jika $F_a \text{ hitung} \leq F_a \text{ tabel}$ dan $F_b \text{ hitung} \leq F_b \text{ tabel}$

H_0 ditolak jika $F_a \text{ hitung} > F_a \text{ tabel}$ dan $F_b \text{ hitung} > F_b \text{ tabel}$

4. Pengujian

Tabel 3.1 Tabel ANOVA

Variabel	Jumlah Kuadrat (<i>Sum Of Square = SS</i>)	Derajat Kebebasan (df)	Rata-rata Kuadrat (<i>Median of Square = MS</i>)	F Hitung
Kolom (k)	$SSC = \frac{\sum Tk^2}{b} - \frac{T^2}{bk}$	$(k-1)$	$MSC = \frac{SSC}{k-1}$	$Fa = \frac{MSC}{MSE}$
Baris (b)	$SSR = \frac{\sum Tb^2}{k} - \frac{T^2}{bk}$	$(b-1)$	$MSR = \frac{SSR}{b-1}$	$Fb = \frac{MSR}{MSE}$
Total (T)	$SST = \sum Xi^2 - \frac{T^2}{bk}$	$(bk-1)$	-	-
Error	$SSE = SST - SSR - SSC$	$(b-1)(k-1)$	$MSE = \frac{SSE}{(b-1)(k-1)}$	-

5. Kesimpulan

Membandingkan antara F hitung dan F tabel dari masing-masing klasifikasi (a dan b) untuk menentukan H0 diterima atau tidak.

Pada penelitian ini, perhitungan ANOVA menggunakan bantuan *software* Minitab versi 18. Minitab merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk melakukan pengolahan statistik. *Output* ANOVA dengan Minitab langsung menunjukkan hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan pada tabel ANOVA. Dengan bantuan Minitab, *output* ANOVA akan menunjukkan *P value* pada masing-masing variabel. Variabel pada penelitian ini terdiri atas *independent variabel* yakni faktor air semen dan substitusi agregat daur ulang dan *dependent variabel* yakni kuat

tekan, porositas, dan permeabilitas beton non pasir. Selanjutnya, *P value* tersebut dibandingkan dengan taraf keyakinan yang telah ditetapkan, dalam penelitian ini ditetapkan 5%. Jika *P value* lebih kecil dari 0,05 maka *Independent variabel* tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap *dependent variabel*. Sebaliknya jika *P value* lebih besar dari 0,05 maka *Independent variabel* tersebut tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap *dependent variabel*.

