

## BAB II KERANGKA TEORITIS

### 2.1. Umum

Pada konstruksi bangunan kita akan menemukan keberadaan struktur beton misalnya pada kolom, balok, dan pelat. Struktur tersebut terbuat dari beton konvensional pada umumnya. Di sisi lain, sebenarnya ada material substitusi untuk struktur beton yang lebih efisien dan ekonomis yaitu ferosemen.

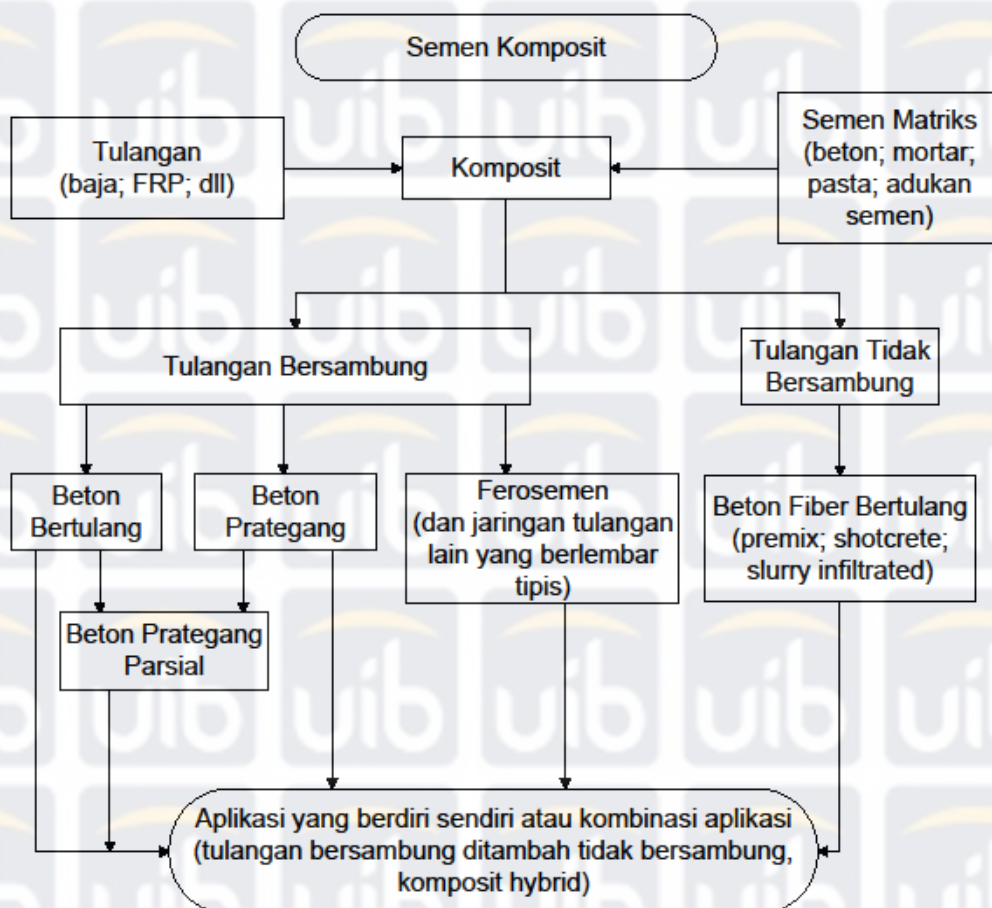
Keberadaan ferosemen saat ini kurang populer dibandingkan beton maupun semen lainnya. Padahal ferosemen merupakan teknologi alternatif yang ekonomis dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan maupun bahan untuk membuat pesawat luar angkasa sekalipun. Demikian terungkap dalam *Symposium on Ferocement and Thin Reinforced Cement Composites ke-9* (1999).

Menurut Ir. Anshori Djausal, M.T. (1999), penggunaan ferosemen sebenarnya sudah ada sejak abad ke-18 namun penggunaan ferosemen kurang populer karena pada saat itu teknologi untuk menghasilkan bahan-bahan pencampur ferosemen belum berkembang dengan baik. Akibatnya, beton yang memiliki usia relatif sama berkembang dengan pesat dan populer. “Dilihat dari ketahanannya terhadap pukulan yang mendadak, ferosemen jauh lebih baik. Di samping itu, ferosemen dapat digunakan untuk berbagai macam proyek, mulai pembuatan vas bunga sampai robot yang menggunakan teknologi tinggi”.

Pada umumnya susunan struktur ferosemen terdiri dari lapisan mortar, jaringan kawat, dan tulangan rangka (Djausal, 2004: 12). Material ini ditemukan

oleh Joseph Louis Lambot yang dipatenkan pada tahun 1852 di Prancis (Naaman, 2000: 1).

**Gambar 2.1**  
Klasifikasi Keluarga Beton Struktural



**Sumber:** Naaman (2000: 39)

Menurut Naaman (2000: 38) secara umum, semen komposit terdiri dari 2 komponen dasar material: semen matriks dan tulangan. Campuran kedua komponen material menghasilkan 2 kelompok semen komposit, yaitu kelompok tulangan bersambung dan tulangan tidak bersambung. Berdasarkan

pengelompokkannya ferosemen termasuk kelompok tulangan bersambung. Klasifikasi yang lebih jelasnya ditampilkan pada Gambar 2.1.

## **2.2. Bahan Pembentuk Ferosemen**

### **2.2.1. Mortar**

Menurut Naaman (2000: 15), campuran semen hidraulik untuk ferosemen harus direncanakan menurut standar prosedur *mix design* untuk mortar dan beton. Pada umumnya mortar terdiri dari semen *portland*, agregat halus (pasir), air, dan *admixture* tambahan lainnya. Berdasarkan ACI Committee 549 (1999: 4) mortar biasanya mengandung 95% dari total volume ferosemen dan mempunyai pengaruh yang besar pada perilaku terhadap produk akhir. Oleh karena itu, dalam pemilihan material-material seharusnya diberi perhatian ekstra pada semen, *mineral admixtures*, agregat halus, dan dalam pencampuran serta penempatan mortar.

ACI Committee 549 (1999: 5) menyatakan interval perbandingan campuran berdasarkan berat untuk ferosemen yang dianjurkan adalah rasio pasir-semen berada pada (S/C) 1,5 – 2,5 dan untuk rasio air-semen (W/C) berada pada 0,35 – 0,5.

#### **2.2.1.1. Semen**

Semen adalah bahan ikat hidrolis yang digunakan untuk mengikat bahan-bahan menjadi satu kesatuan yang kuat. Bahan hidrolis adalah bahan yang akan mengeras bila bercampur dengan air (H<sub>2</sub>O) atau udara bebas atau lembab dan tidak dapat didaur ulang.

Menurut ASTM C-150-07, Semen *portland* terbagi dalam 8 jenis sebagai berikut :

Jenis I : digunakan untuk konstruksi pada umumnya tanpa persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lainnya

Jenis IA : semen air-entraining untuk penggunaan yang sama seperti jenis I, ketika air-entrainment diperlukan

Jenis II : untuk penggunaan umum, terutama sekali bila diisyaratkan agar tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang

Jenis IIA : semen air-entraining untuk penggunaan yang sama seperti jenis II, ketika air-entrainment diperlukan

Jenis III : digunakan untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi

Jenis IIIA : semen air-entraining untuk penggunaan yang sama seperti jenis III, ketika air-entrainment diperlukan

Jenis IV : digunakan untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah

Jenis V : digunakan untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat

Menurut ACI Committee 549 (1999: 4), semen pembentuk mortar ferosemen harus bersih, seragam, bebas dari gumpalan dan benda asing. Semen harus disimpan pada kondisi yang kering untuk durasi waktu yang sependek mungkin. Pada umumnya semen yang digunakan adalah tipe/jenis I. Pemilihan terhadap tipe semen harus bergantung kepada kondisi pelayanan. Faktor

penggunaan semen umumnya lebih tinggi di ferosemen daripada di beton bertulang.

### **2.2.1.2. Agregat**

Agregat adalah butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi dari batuan atau batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Adapun jenis bahan agregat ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Dalam penelitian ini penulis hanya akan menggunakan agregat halus karena salah satu bahan dasar ferosemen adalah agregat halus. Oleh karena itu, ferosemen tergolong struktur yang lebih ringan jika dibandingkan dengan beton bertulang pada umumnya selain ukuran profil ferosemen itu sendiri.

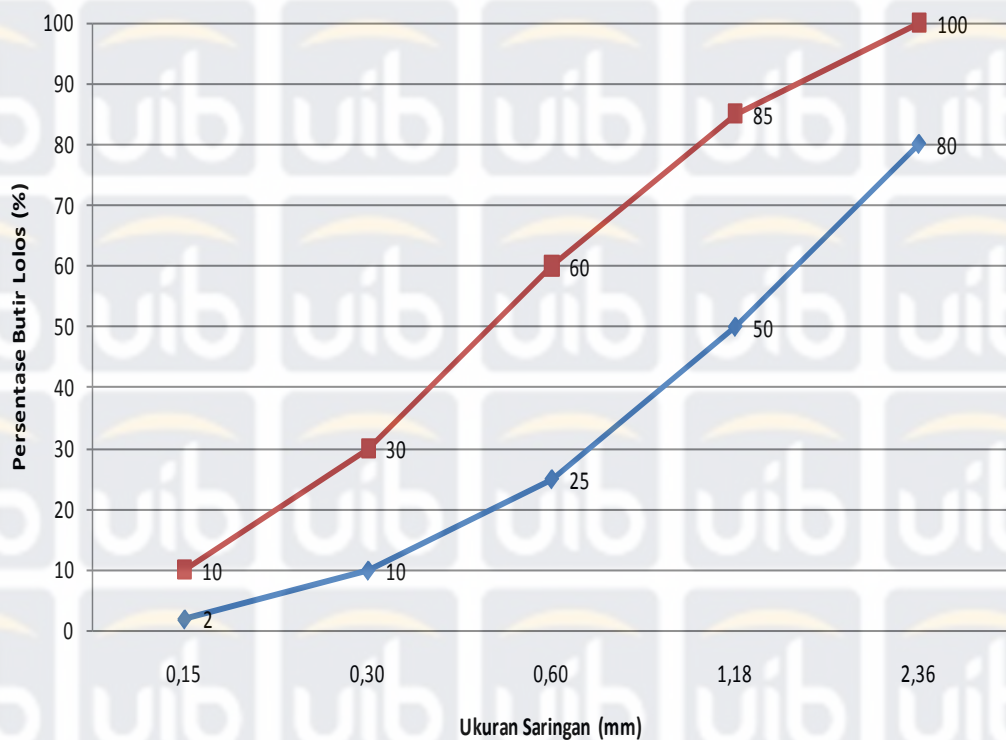
Pasir halus atau agregat halus adalah batuan yang ukurannya  $\leq 4,75$  mm (Ir. Tri Mulyono, M.T., 2004, 2005: 65). Menurut ACI Committee 549 (1999: 4), pada keadaan normal agregat terdiri dari agregat halus (pasir) bergradasi baik yang melewati saringan standar ASTM No.8 (2,36 mm). Jika dimungkinkan oleh ukuran jaringan bukaan dan jarak antar lapisan jaringan, agregat kasar yang kecil dapat ditambahkan ke dalam pasir.

Agregat halus (pasir) adalah agregat biasa yang umumnya digunakan pada ferosemen dan harus mengikuti standar ASTM C-33 (untuk agregat halus) atau standar yang setara. Agregat halusnya harus bersih, lembam, bebas dari bahan organik, dan substansi pengganggu serta secara relatif bebas dari lumpur dan tanah. Agregat yang dapat bereaksi dengan alkali dalam semen harus dihindari (ACI Committee 549, 1999: 5).

Menurut ACI Committee 549 (1999: 5), gradasi agregat halus harus memenuhi kriteria petunjuk dari Gambar 2.2, yang disesuaikan dengan ASTM C-33. Akan tetapi, ukuran partikel maksimum harus disesuaikan oleh pembatas konstruksi seperti ukuran jaringan dan jarak antar lapisan.

**Gambar 2.2**  
Grafik Gradasi Agregat Halus (Pasir)

### Gradasi Agregat Halus



**Sumber:** ACI Committee 549 (1999: 5) dan diolah

Penggunaan bahan batuan sampai batas tertentu dalam adukan beton/mortar adalah untuk :

1. Penghematan penggunaan semen *portland*

2. Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton/mortar
3. Mengurangi susut pengerasan pada beton/mortar
4. Mencapai susunan padat beton/mortarnya dengan gradasi yang baik dari bahan batuan.
5. Mengontrol sifat dapat dikerjakan (*workability*) adukan beton/mortar plastis, dengan gradasi yang baik

### 2.2.1.3. Air

Air merupakan salah satu bahan dasar pembuatan mortar yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton/mortar (Ir. Tri Mulyono, M.T., 2004, 2005: 51).

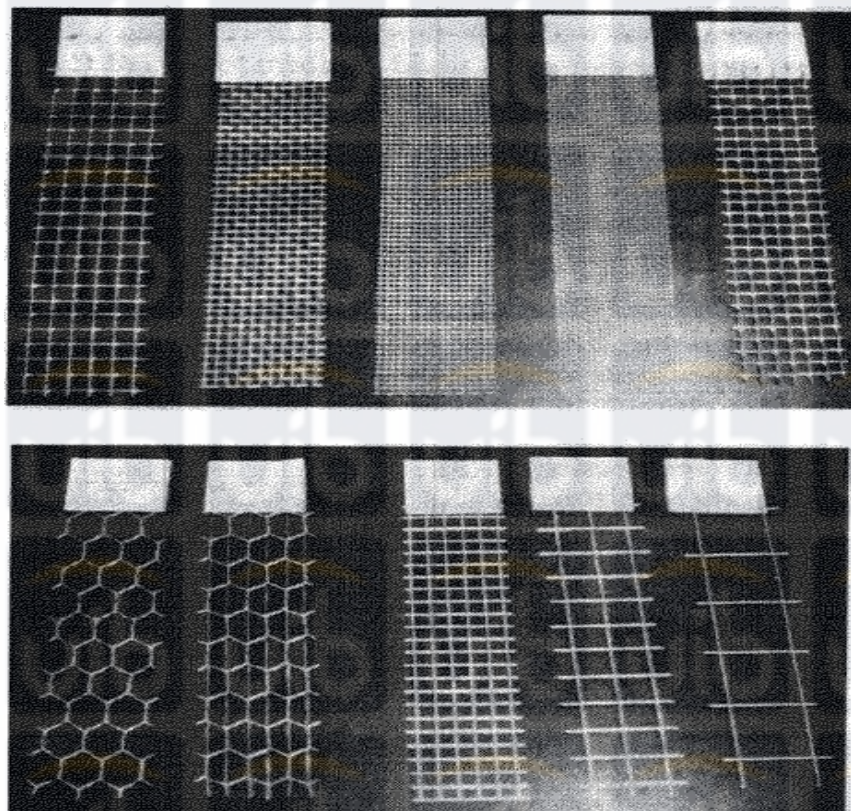
Menurut ACI Committee 549 (1999: 5), air yang digunakan haruslah segar, bersih, dan dapat diminum. Airnya harus bebas dari bahan organik, lumpur, minyak, gula, klorida, dan bahan bersifat asam. Jika dites, airnya harus mempunyai  $\text{pH} \geq 7$  untuk meminimalkan penurunan pH dalam adukan mortar. Air garam tidak diperbolehkan, tetapi air minum yang berklorinasi dapat digunakan.

Berdasarkan ACI 318-08 (2008: 42), jika memungkinkan, air dengan konsentrasi tinggi dari zat terlarut harus dihindari.

### 2.2.2. Jaringan Kawat (*Wire Mesh*)

Jaringan kawat adalah sejenis jaringan berupa kawat yang relatif kecil diameternya. Pada ferosemen diberi tulangan jaringan kawat yang tersebar merata dalam beberapa lapisan. Kawat tulangan tersebut adalah tulangan kawat baja atau bahan lain yang sesuai kebutuhan (Naaman 2000: 17, dikutip dari ACI Committee, 1988).

**Gambar 2.3**  
Jenis-Jenis Jaringan Kawat (*Wire Mesh*)



**Sumber:** ACI Committee 549 (1999: 6)

Umumnya jaringan kawat memiliki bentuk heksagonal atau persegi (lihat Gambar 2.3). Secara struktural jaringan yang berbentuk heksagonal tidak seefisien jaringan yang berbentuk persegi karena jaringannya tidak selalu mengorientasi



dalam arah dari tegangan pokok (maksimum). Akan tetapi, jaringan heksagonal sangat fleksibel dan dapat digunakan dalam elemen kurva ganda. Jaringan dengan bentuk persegi tersedia dalam bentuk yang dilas atau bergelombang. Kecuali untuk jaringan *expanded metal*, semua jaringan yang digunakan adalah yang berbahan galvanis (ACI Committee 549, 1999: 6).

### 2.3. Analisa

Analisa kapasitas momen nominal yang dilakukan berupa analisis secara regangan dan transformasi area. Sesuai ketentuan ACI Committee 549 (1999: 21), dimensi yang digunakan untuk perhitungan kapasitas momen direkomendasikan bahwa rasio rentang panjang terhadap tebal sampel balok tidak kurang dari 20 dan untuk dimensi lebarnya tidak kurang dari 6 kali lebar spasi jaringan kawat yang diukur secara normal terhadap arah rentangnya.

#### 2.3.1. Analisa Metode Regangan

##### 2.3.1.1. Volume Fraksi

Untuk melakukan analisa momen nominal, sebelumnya dilakukan perhitungan volume fraksi. Menurut Naaman (2000: 25), untuk menghitung volume fraksi adalah sebagai berikut :

$$V_r = \frac{N \cdot \pi \cdot d_w^2}{4 \cdot h} \left[ \frac{1}{D_L} + \frac{1}{D_T} \right] \dots\dots\dots \text{Pers. 2.1}$$

Untuk jaringan kawat yang berbentuk persegi di mana  $D_L = D_T = D$ , jadi :

$$V_r = \frac{N \cdot \pi \cdot d_w^2}{4 \cdot h \cdot D} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.2}$$

Keterangan :

$V_r$  = volume fraksi tulangan (%)

$N$  = jumlah lapisan jaringan kawat

$\pi$  = koefisien ( $\frac{22}{7}$  / 3,14)

$d_w$  = diameter jaringan kawat (mm)

$h$  = ketebalan elemen ferosemen (mm)

$D_L$  = jarak pusat ke pusat kawat dalam arah longitudinal (mm)

$D_T$  = jarak pusat ke pusat kawat dalam arah transversal (mm)

$D$  = jarak pusat ke pusat kawat (mm)

Menurut Naaman (2000: 137), metode perhitungan momen nominal dapat digunakan untuk memprediksi momen tahanan.

### 2.3.1.2. Momen Nominal

Menurut Naaman (2000: 138), untuk menghitung momen nominal tahanan ( $M_n$ ) dengan analisa metode regangan dapat dilihat dari persamaan 2.3.

$$M_n = (C \text{ atau } T) \times (Y_C + Y_T) \dots\dots\dots \text{Pers. 2.3}$$

Atau

$$M_n = \sum_{i=1}^n (C_i \text{ atau } T_i) \left( d_i - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \right) \dots\dots\dots \text{Pers. 2.4}$$

Beberapa persamaan digunakan untuk menghitung momen nominalnya :

1. Menentukan nilai regangan dan tegangan (Naaman, 2000: 139)

$$\varepsilon_{ri} = \left( \frac{d_i - c}{c} \right) \varepsilon_{mu} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.5}$$

Jika  $\varepsilon_{ri} \leq \varepsilon_{ry}$  gunakan  $\varepsilon_{ri}$  dan  $\sigma_{ri} = E_r \cdot \varepsilon_{ri}$

Jika  $\varepsilon_{ri} \geq \varepsilon_{ry}$  gunakan  $\varepsilon_{ry}$  dan  $\sigma_{ri} = \sigma_{ry} = E_r \cdot \varepsilon_{ry}$

2. Perhitungan  $A_{ri}$  menggunakan rumus sebagai berikut (Naaman, 2000: 130)

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_w^2 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.6}$$

$$N = \left( \frac{b}{D} \right) + 1 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.7}$$

$$A_{ri} = A \cdot N \dots\dots\dots \text{Pers. 2.8}$$

3. Rumus-rumus perhitungan gaya dan jarak gaya (Naaman, 2000: 140)

$$\text{Tarik : } T = \sigma_{ry} \cdot A_{ri} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.9}$$

$$Y_T = d_j - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.10}$$

$$\text{Tekan : } C = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c \dots\dots\dots \text{Pers. 2.11}$$

$$Y_C = d_i - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.12}$$

Keterangan :

$M_n$  = momen nominal (Nmm)

$C$  = gaya tekan pada blok tekan mortar (N)

$T$  = gaya tarik pada masing-masing jaringan (N)

$Y_C$  = jarak gaya tekan ke lengan tarik (c) (mm)

$Y_T$  = jarak gaya tarik ke lengan tekan (c) (mm)

$\varepsilon_{ri}$  = regangan dari tulangan jaringan pada lapisan i (mm)

$\varepsilon_{ry}$  = regangan leleh nominal dari tulangan jaringan (mm)

$\epsilon_{mu}$  = regangan ultimit mortar tekan (biasanya diasumsikan 0,003 untuk mortar/beton)

$\sigma_{ri}$  = tegangan dari tulangan jaringan pada lapisan i (MPa)

$\sigma_{ry}$  = tegangan leleh dari tulangan jaringan (MPa)

$E_r$  = modulus elastisitas jaringan kawat (MPa)

$A$  = luas penampang kawat ( $\text{mm}^2$ )

$\pi$  = koefisien ( $\frac{22}{7}$  / 3,14)

$d_w$  = diameter jaringan kawat (mm)

$N$  = jumlah lapisan jaringan kawat

$b$  = lebar penampang elemen (mm)

$D$  = jarak pusat ke pusat kawat (mm)

$A_{ri}$  = luas penampang dari tulangan jaringan kawat pada lapisan i ( $\text{mm}^2$ )

$d_i, d_j$  = jarak dari serat tekan terluar ke titik tengah tulangan pada lapisan i (blok tekan) dan j (blok tarik) (mm)

$\beta_1$  = faktor reduksi 0,8

$c$  = jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)

$f'c$  = kuat tekan mortar (MPa)

### 2.3.2. Analisa Metode Transformasi Area

#### 2.3.2.1. Tegangan Izin

Perhitungan kapasitas momen lentur dengan metode transformasi area memerlukan batasan-batasan dalam perhitungan tegangannya. Menurut Naaman (2000: 165), perhitungan untuk tegangan izin adalah sebagai berikut :

$$\bar{\sigma}_{ri} = 0,6\sigma_{ry} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.13}$$

$$\bar{\sigma}_m = 0,45f'c \dots\dots\dots \text{Pers. 2.14}$$

Keterangan :

$\bar{\sigma}_{ri}$  = tegangan izin kuat leleh dari tulangan jaringan pada lapisan i (MPa)

$\sigma_{ry}$  = tegangan leleh dari tulangan jaringan (MPa)

$f'c$  = kuat tekan mortar (MPa)

$\bar{\sigma}_m$  = tegangan izin kuat tekan mortar (MPa)

### 2.3.2.2.Kapasitas Momen Lentur

Menurut Naaman (2000: 129), formula untuk menghitung kapasitas momen lentur dengan metode transformasi area diperlihatkan pada persamaan 2.15 dan 2.16.

$$\bar{\sigma}_m = \frac{M.c}{I_{tr}} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.15}$$

$$\bar{\sigma}_{ri} = \frac{n.M(d_i - c)}{I_{tr}} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.16}$$

Beberapa persamaan digunakan untuk menghitung kapasitas momennya :

1. Menentukan nilai rasio elastis moduli

$$n = \frac{E_r}{E_m} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.17}$$

2. Menentukan garis netral (c), dengan cara statis momen terhadap garis netral

$$\frac{1}{2}.b.c^2 + \sum_{i=1}^n (n-1).A_{ri}(c - d_i) = \sum_{i=1}^n n.A_{rj}(d_j - c) \dots\dots\dots \text{Pers. 2.18}$$

### 3. Menentukan momen inersia transformasi

$$I_{tr} = \frac{1}{3} b \cdot c^3 + \sum_{i=1}^n (n-1) A_{ri} (c - d_i)^2 + \sum_{i=1}^n n \cdot A_{rj} (d_j - c)^2 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.19}$$

Keterangan :

$\bar{\sigma}_m$  = tegangan izin kuat tekan mortar (MPa)

M = kapasitas momen (Nmm)

c = jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)

$I_{tr}$  = momen inersia transformasi (mm<sup>4</sup>)

$\bar{\sigma}_{ri}$  = tegangan izin kuat leleh dari tulangan jaringan pada lapisan i (MPa)

n = nilai rasio elastis moduli

$d_i, d_j$  = jarak dari serat tekan terluar ke titik tengah tulangan pada lapisan i (blok tekan) dan j (blok tarik) (mm)

$E_r$  = modulus elastisitas jaringan kawat (MPa)

$E_m$  = modulus elastisitas mortar (MPa)

b = lebar penampang elemen (mm)

$A_{ri}, A_{rj}$  = luas penampang dari tulangan jaringan kawat pada lapisan i (blok tekan) dan j (blok tarik) (mm<sup>2</sup>)

### 2.4. Rencana Campuran Mortar

Campuran beton/mortar merupakan perpaduan dari komposit material penyusunnya. Karakteristik dan sifat bahan akan mempengaruhi hasil rancangan.

Perancangan campuran beton/mortar dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton/mortar. Proporsi campuran dari bahan-

bahan penyusun beton/mortar ini ditentukan melalui sebuah perancangan beton/mortar (*mix design*). Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis serta ekonomis (Ir. Tri Mulyono, M.T., 2004, 2005: 157).

Kriteria dasar perancangan beton/mortar adalah kekuatan tekan dan hubungannya dengan faktor air semen yang digunakan. Kriteria lain yang harus dipertimbangkan adalah kemudahan pengerjaan. Faktor air-semen yang kecil akan menghasilkan kekuatan yang tinggi, tetapi kemudahan dalam pengerjaan tak akan tercapai (Ir. Tri Mulyono, M.T., 2004, 2005: 157-158).

Pemilihan agregat yang digunakan juga akan mempengaruhi sifat pengerjaan. Butiran yang besar akan menyebabkan kesulitan, terutama karena akan menimbulkan segregasi. Jika ini terjadi, kemungkinan terbentuknya rongga-rongga pada saat beton mengeras akan semakin besar. Selain dua kriteria utama tersebut, hal lain yang patut dipertimbangkan adalah keawetan (*durability*) dan permeabilitas beton sendiri (Ir. Tri Mulyono, M.T., 2004, 2005: 158).

Dalam melakukan perancangan campuran (*mix design*) pada penelitian ini, penulis akan menggunakan Metode Volume Absolut. Penggunaan metode perancangan tersebut dimaksudkan untuk menghasilkan kuat tekan yang optimal.

Prinsip hitungan kebutuhan dasar dari mortar ialah volume beton/mortar padat sama dengan jumlah absolut volume bahan-bahan dasarnya. Proporsi campuran dapat dihitung jika diketahui :

$\gamma_s$  = berat jenis semen ( $\text{gr/cm}^3 = \text{t/m}^3$ )

$\gamma_{ag.h}$  = berat jenis agregat halus ( $\text{gr/cm}^3 = \text{t/m}^3$ )

$\gamma_{air}$  = berat jenis air ( $\text{gr/cm}^3 = \text{t/m}^3$ )

$v$  = prosentase udara dalam beton/mortar (%)

$S$  = berat semen yang diperlukan dalam  $1 \text{ m}^3$  (gr)

Dengan menghitung berdasarkan harga semen.

$$\frac{S}{\gamma_s \gamma_{air}} + \frac{P_{Ag,h} \cdot S}{\gamma_{Ag,h} \gamma_{air}} + \frac{A \cdot S}{\gamma_{air}} + 0,01v = 1 \text{ m}^3 \dots\dots\dots \text{Pers. 2.20}$$