

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Bangunan Gedung**

Dalam sebuah instansi pendidikan diperlukan fasilitas yang dapat menunjang berjalannya kegiatan akademik dan non akademik, salah satu fasilitas itu adalah gedung. Gedung merupakan sebuah bangunan konstruksi yang digunakan manusia untuk melakukan kegiatan, sehingga kenyamanan dalam sebuah gedung sangat penting dan perlu diperhatikan. Seperti yang disebutkan dalam Perda Nomor 1 Tahun 2018, tentang Bangunan Gedung, Paragraf 8, Persyaratan Keselamatan bangunan Gedung Pasal 42 yaitu persyaratan keandalan bangunan gedung terdiri dari persyaratan keselamatan bangunan gedung, persyaratan kesehatan bangunan gedung, persyaratan kenyamanan bangunan gedung dan persyaratan kemudahan gedung.

Kenyamanan tersebut menyangkut keamanan gedung untuk semua penghuni yang ada didalam gedung tersebut. Keamanan gedung dapat dilihat dari segi struktur bangunan, apakah struktur bangunan tersebut dibangun dengan bahan-bahan atau material yang tepat dan dengan perencanaan yang matang. Apabila bangunan gedung tersebut dibangun dengan bahan-bahan atau material yang tepat maka bangunan tersebut dapat menahan beban-beban yang ada seperti beban mati, beban hidup dan beban

angin. Bangunan yang aman tidak hanya bangunan yang dapat menahan beban-beban tersebut, tetapi bangunan yang dapat menahan getaran gempa bumi.

### **2.1.1. Pengertian Bangunan Gedung**

Gedung merupakan sebuah bangunan yang digunakan sebagai tempat untuk melakukan kegiatan. Maka dalam kegiatan tersebut gedung menjadi hal penting agar kegiatan yang dilakukan dapat berjalan dengan kondusif. Dalam Undang-Undang Republik Indonesia nomor 28 tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung Pasal 1 ayat 1 bahwa wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, kegiatan budaya, maupun kegiatan khusus disebut Bangunan Gedung.

Menurut Subekti (2020) menjelaskan bahwa bangunan terdiri dari :

#### **1. Bangunan Permanen**

Bangunan yang terbuat dari material tahan lama atau tidak dapat dipindahkan letak bangunannya serta mempunyai masa penggunaan selama 20 tahun dan bersifat tetap disebut bangunan permanen. Contoh bangunan permanen yaitu gedung sekolah, kantor, pabrik, serta gedung-gedung lain yang terbuat dari batu bata dan campuran semen.

## **2. Bangunan Tidak Permanen**

Bangunan yang terbuat dari material tidak tahan lama atau yang dapat dipindahkan letak bangunannya serta masa penggunaannya tidak lebih dari 10 tahun dan bersifat sementara disebut bangunan tidak permanen. Contoh bangunan tidak permanen yaitu barak yang terbuat dari kayu yang digunakan oleh karyawan.

### **2.1.2. Perkuatan Gedung**

Dalam dunia konstruksi sering terjadi berbagai kerusakan bangunan dengan banyak permasalahan, baik itu disebabkan oleh kesalahan dalam perencanaan maupun akibat bencana alam. Banyak hal yang menjadi penyebab terjadinya kerusakan dalam sebuah bangunan, sehingga perlu dilakukan antisipasi untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi pada bangunan. Oleh sebab itu, kita sebagai *engineer* harus memaksimalkan perencanaan sebuah bangunan agar tidak terjadi kerusakan yang fatal.

Untuk menyikapi hal tersebut maka perlu dilakukan perkuatan pada gedung yang akan dibangun, agar tidak terjadi kerusakan bangunan. Seperti yang dijelaskan dalam Undang-Undang Republik Indonesia nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung Pasal 18 ayat 1 yaitu persyaratan kemampuan struktur bangunan gedung yang stabil dan kukuh sampai dengan kondisi pembebanan maksimum dalam mendukung muatan beban hidup dan muatan beban mati, serta untuk daerah/zona tertentu

kemampuan untuk mendukung beban muatan yang timbul akibat perilaku alam. Sehingga perlu dilakukan perkuatan pada sebuah bangunan dengan cara melakukan pengembangan dalam perencanaan dan pembangunan yang akan dilakukan.

Perkuatan gedung dapat dilakukan pada struktur bangunan baik itu pada struktur bawah dan struktur atas, berikut ini perkuatan yang dapat dilakukan adalah :

### **1. Struktur Bawah**

Elemen pada struktur bawah yaitu pondasi, perkuatan yang dilakukan pada pondasi berupa penyesuaian ukuran dan pemilihan jenis pondasi yang sesuai dengan beban yang akan diterima serta kegunaan bangunan yang akan dibangun. Pondasi dapat dikatakan struktur yang sangat penting untuk bangunan kecil maupun besar, karena pondasi berfungsi memikul beban bangunan yang terletak di atasnya.

### **2. Struktur Atas**

Seluruh struktur bagian yang berada di atas permukaan tanah disebut Struktur atas, (SNI 2002). Elemen struktur atas antara lain :

#### **a. Sloof**

Sloof merupakan struktur bangunan yang terletak di atas pondasi berupa beton bertulang, berfungsi sebagai pemikul beban dari dinding bangunan yang disalurkan ke pondasi.

Perkuatan yang dapat dilakukan pada sloof yaitu

penulangan yang teliti dan tepat sesuai dengan beban yang akan diterima serta adukan beton yang sempurna. Apabila tidak dilakukan perkuatan pada sloof maka dapat menimbulkan kerusakan pada bagian dinding bangunan berupa retakan.

b. Kolom

Komponen struktur dengan tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil, (SK SNI T-15-1991-03). Struktur yang berdiri tegak berupa beton bertulang terletak diatas sloof dan diantara dinding yang berfungsi sebagai penyalur beban dari atap serta beban lainnya yang diteruskan menuju pondasi. Perkuatan yang dapat dilakukan pada struktur kolom berupa penambahan material lain yang dapat mengikat seperti material ferosemen, sehingga struktur kolom dapat menyalurkan beban dengan maksimal.

c. Ring Balok

Struktur bangunan berupa beton bertulang terletak diatas dinding serta berfungsi sebagai pengikat dinding dan juga sebagai tumpuan rangka atap disebut Ring Balok. Perkuatan pada ring balok sama halnya dengan perkuatan yang dilakukan pada struktur kolom yaitu berupa

penambahan material pengikat salah satunya material ferosemen.

d. Rangka Atap

Rangka atap adalah struktur bangunan yang terletak tepat diatas ring balok berupa struktur kuda-kuda, terbuat dari kayu atau baja ringan. Rangka Atap memiliki fungsi menyalurkan beban atap serta beban lainnya yang berada di atap bangunan, lalu diteruskan ke struktur lain yang berada dibawahnya. Perkuatan rangka atap dapat dilakukan dengan cara pemilihan material rangka atap berdasarkan beban yang akan terima serta penambahan material lain seperti besi pengikat pada setiap sambungan kuda-kuda.

Gedung yang dibangun tanpa perencanaan yang baik dapat menyebabkan kerusakan. Oleh karena itu, diperlukan suatu perencanaan struktur yang tepat dan teliti agar dapat memenuhi kriteria kekuatan (*strength*), kenyamanan (*serviceability*), keselamatan (*safety*), dan umur rencana bangunan (*durability*), (civil engineering, 26 Maret 2016).

## 2.2. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Menurut Wikipedia, gempa bumi adalah Pelepasan energi yang terjadi secara tiba-tiba sehingga terciptanya gelombang seismik yang mengakibatkan getaran di permukaan bumi. Pelepasan energi yang besar

menyebabkan pergeseran lempeng bumi sehingga menimbulkan getaran mengakibatkan kerusakan pada permukaan bumi.

### **2.2.1. Jenis-jenis Gempa Bumi**

Menurut Wikipedia gempa bumi dapat dibedakan berdasarkan :

#### **1. Berdasarkan Penyebabnya**

Berdasarkan Penyebabnya gempa bumi dibagi menjadi 5 yaitu :

##### **a. Gempa Bumi Tektonik**

Pergeseran yang terjadi secara tiba-tiba pada lempeng tektonik yang mempunyai kekuatan sangat kecil hingga kekuatan sangat besar.

##### **b. Gempa Bumi Tumbukan**

Gempa bumi yang jarang terjadi, disebabkan karena adanya tumbukan meteor atau asteroid yang jatuh ke bumi.

##### **c. Gempa Bumi Runtuhan**

Gempa bumi yang jarang terjadi, biasanya terjadi pada daerah berkapur atau daerah pertambangan yang bersifat lokal disebut gempa bumi runtuhan.

##### **d. Gempa Bumi Buatan**

Gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang terjadi akibat perilaku atau aktivitas manusia seperti peledakan dinamit, nuklir atau benda berat yang jatuh dipermukaan bumi.

##### **e. Gempa Bumi Vulkanik**

Gempa bumi yang terjadi akibat aktivitas magma gunung berapi disebut gempa vulkanik. Gempa bumi tersebut timbul

akibat aktivitas gunung api yang makin tinggi, gempa tersebut hanya terjadi di sekitar gunung berapi.

## **2. Berdasarkan Kedalaman**

Berdasarkan kedalamannya gempa bumi dibagi menjadi 3 yaitu:

### **a. Gempa Bumi Dalam**

Gempa bumi ini pada umumnya tidak terlalu berbahaya, gempa bumi yang hiposentrumnya lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi (di dalam kerak bumi) disebut gempa bumi dalam.

### **b. Gempa Bumi Menengah**

Gempa bumi yang hiposentrumnya antara 60 km sampai 300 km di bawah permukaan bumi dan menimbulkan kerusakan ringan serta getarannya lebih terasa disebut gempa bumi menengah.

### **c. Gempa Bumi Dangkal**

Gempa bumi yang hiposentrumnya kurang dari 60 km dari permukaan bumi dan menyebabkan kerusakan yang besar disebut gempa bumi dangkal.

## **3. Berdasarkan Gelombang/Getaran Gempa**

Berdasarkan gelombang/getaran gempa bumi dibagi menjadi 2 yaitu :

a. Gelombang Primer

Gelombang primer (gelombang longitudinal) adalah getaran yang berasal dari hiposentrum yang merambat di tubuh bumi dengan kecepatan antara 7-14 km/detik.

b. Gelombang Sekunder

Gelombang sekunder (gelombang transversal) adalah gelombang atau getaran yang merambat seperti gelombang primer yang kecepatannya sudah berkurang antara 4-7 km/detik, gelombang sekunder tidak dapat merambat melalui lapisan cair.

### 2.2.2. Pembagian wilayah Gempa Bandar Lampung

Ikatan Ahli Kebencanaan Indonesia (IABI) telah melakukan penelitian tentang analisa resiko gempa bumi di daerah Bandar Lampung menggunakan metode *horizontal to vertical spectrum ratio (HVSR)* mikrotremor pada tahun 2016. Penelitian yang dilakukan untuk menentukan nilai kerentanan bencana gempa bumi di daerah Bandar Lampung yang menghasilkan kurva HVSR agar mendapatkan nilai frekuensi natural ( $f_0$ ) dan nilai puncak perbandingan *spectrum* horizontal dan vertikal H/V ( $A_0$ ). Pengambilan data dilakukan pada tiga titik yaitu Kemiling, Kedaton, dan Panjang. Pada tahap penelitian ini meliputi :

1. Pengukuran data lapangan meliputi pengukuran mikrotremor 3 komponen.

2. Pengolahan data pengukuran berupa *import* sinyal, pemilihan lebar window, analisis FFT (*Fast Fourier Transform*), pembuatan kurva HVSR dan penentuan frekuensi natural.
3. Analisis dan kesimpulan.

Berdasarkan hasil analisis nilai frekuensi natural pada daerah Kemiling sebesar 0,3Hz, Kedaton sebesar 0,1Hz, dan daerah panjang 0,2Hz. Berdasarkan ketiga wilayah tersebut membandingkan nilai tersebut kedalam referensi tabel zona kerentanan gempa bumi maka didapatkan hasil bahwa daerah tersebut berada pada zona tinggi gempa bumi karena nilai frekuensi didapatkan kurang dari 1,5Hz. Oleh karena itu, pentingnya perkuatan pada struktur bangunan agar dapat menahan beban gempa bumi sehingga dapat meminimalisir kerusakan atau menghindari kerusakan yang terjadi.

### **2.3. Ferosemen**

Material ferosemen merupakan material yang ringan dan dapat dihomogenkan dengan dinding eksisting sebelumnya, sehingga pemilihan material ferosemen menjadi salah satu cara untuk mengurangi besarnya gaya gempa yang dipikul pada bangunan. Dengan material ferosemen membuat seluruh elemen struktur menjadi satu kesatuan yang utuh sehingga tidak mudah runtuh akibat gempa, pada dasarnya sesuai dengan konsep bangunan tahan gempa.

### 2.3.1. Pengertian Fero semen

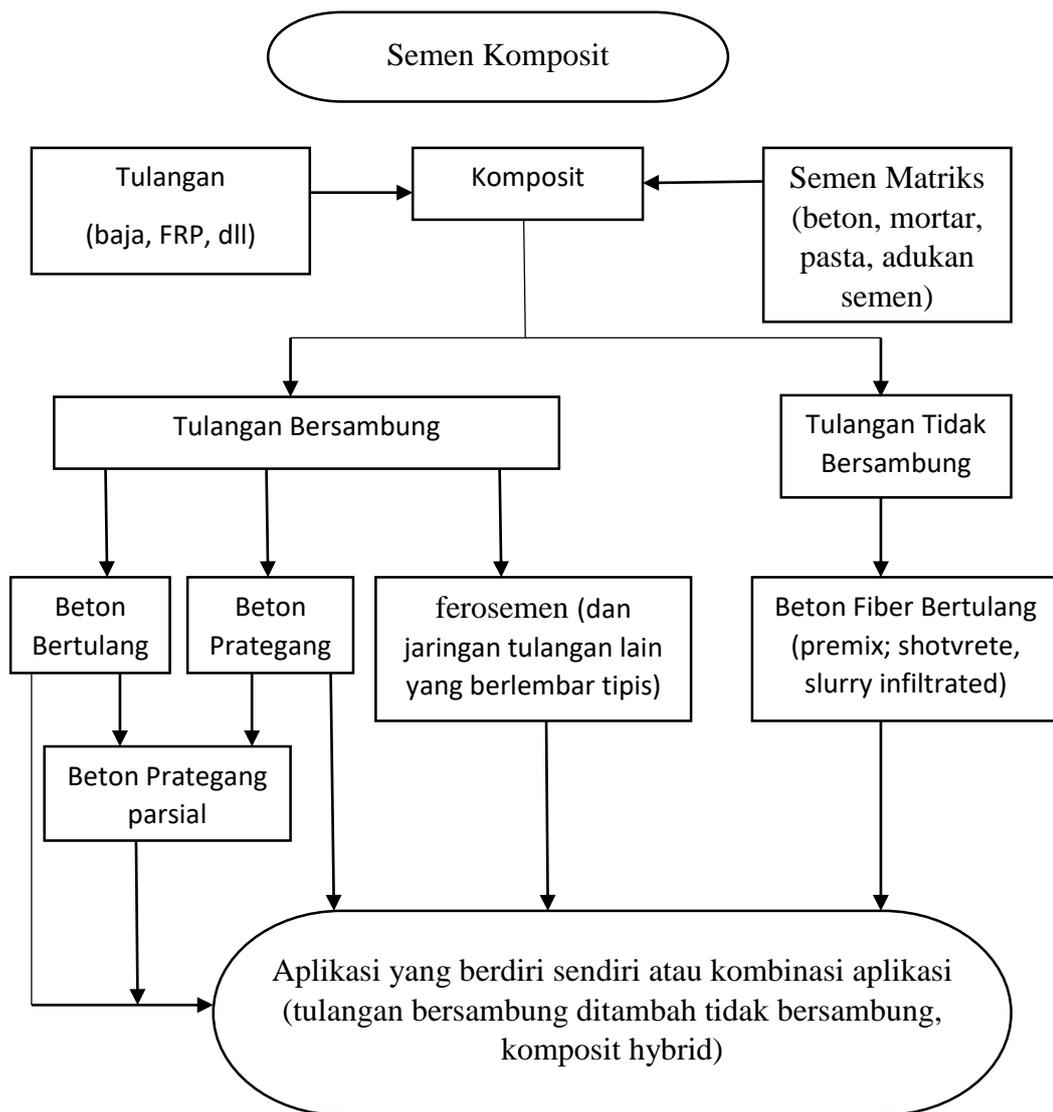
Menurut Husada (2018) beton bertulang yang menggunakan sejenis lapisan berbentuk jala (jaringan kawat) sebagai tulangan dalam campuran mortar disebut fero semen. fero semen merupakan salah satu perkuatan yang menggunakan jaringan kawat/kawat ayam (*wiremesh*). Menurut Djausal (1999) penggunaan fero semen sebenarnya sudah ada sejak abad ke-18 namun penggunaan fero semen kurang populer karena pada saat itu teknologi untuk menghasilkan bahan-bahan pencampur fero semen belum berkembang dengan baik.

Menurut Djausal (2004: 12) susunan struktur fero semen terdiri dari jaringan kawat dan tulangan rangka. Material ini ditemukan oleh Joseph Louis Lambot yang dipatenkan pada tahun 1852 di Prancis (Naaman, 2000: 1).

Menurut Naaman (2000: 38) secara umum, semen komposit terdiri dari 2 komponen dasar material yaitu semen matriks dan tulangan. Hasil dari campuran kedua material tersebut menghasilkan 2 kelompok semen komposit yaitu :

1. Komposit tulangan bersambung.
2. Tulangan tidak bersambung.

Dilihat dari pengelompokkannya, fero semen termasuk komposit tulangan bersambung. Dalam dunia konstruksi, fero semen memiliki beberapa kelebihan dibandingkan material lain.



Gambar 2.1. Klasifikasi keluarga Beton Bertulang

(Sumber: Naaman, 2000: 39)

Menurut Sumanto (2012) ferosemen memiliki kelebihan sebagai berikut :

1. Bahan dasar untuk membuat ferosemen mudah didapatkan.
2. Struktur yang terbuat dari ferosemen relatif tipis dan ringan.
3. Ferosemen dapat dibuat secara fabrikasi (dibuat di pabrik).

4. Untuk membuat fero semen tidak diperlukan keahlian khusus, karena pengerjaannya relatif mudah dan sederhana.
5. Penghematan bahan cetakan dapat dilakukan.
6. Fero semen adalah material substitusi beton.
7. Jika mengalami kerusakan, perbaikan pada fero semen mudah dilakukan.

### **2.3.2. Bahan-bahan Fero semen**

Fero semen merupakan material yang ringan, berikut ini bahan-bahan penyusun fero semen :

#### **1. Mortar**

Mortar terdiri dari beberapa material diantaranya semen *portland*, agregat halus (pasir), air, dan *admixture* tambahan lainnya. Menurut Naaman (2000: 15) campuran semen hidrolik untuk fero semen harus direncanakan menurut standar prosedur *mix design* untuk mortar dan beton. Berdasarkan ACI (American Concrete Institute) SCommittee 549 (1999: 4) mortar biasanya mengandung 95% dari total volume fero semen dan mempunyai pengaruh yang besar pada perilaku terhadap produk akhir.

Dalam pemilihan material seharusnya diberi perhatian ekstra pada semen, *mineral admixture*, agregat halus, dan dalam pencampuran serta penempatan mortar. ACI Committee 549 (1999: 5) menyatakan interval perbandingan campuran berdasarkan berat untuk fero semen 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.

Menurut Tjokrodimuljo (2007) mortar dibagi menjadi sebagai berikut :

#### 1. Mortar Semen

Mortar yang terbuat dari hasil pencampuran semen portland, air dan agregat halus. Perbandingan campuran antara volume semen dan volume agregat halus antara 1 : 2 sampai dengan 1 : 8. Jenis mortar seperti ini biasanya digunakan untuk kolom, tembok, pilar, bagian luar bangunan dan bagian bangunan yang terletak di bawah tanah.

#### 2. Mortar Khusus

Pembuatan mortar ini dengan menggunakan campuran khusus pada mortar kapur dan mortar semen, dengan menambahkan *asbestos fibres*, *jutes fibres* (serat alami) dan lain sebagainya. Mortar ini dapat digunakan untuk tungku api dan sebagainya.

#### 3. Mortar Kapur

Mortar yang digunakan untuk perekat bata merah atau perekat antar batu pada pasangan batu, mortar ini terbuat dari campuran pasir, kapur, semen merah dan air.

#### 4. Mortar Lumpur

Mortar ini pada umumnya digunakan untuk bahan dinding atau bahan tungku api, terbuat dari campuran tanah liat/lumpur, air dan agregat halus.

Berikut ini bahan-bahan penyusun mortar :

##### a. Semen

Semen merupakan bahan ikat hidrolis yang digunakan untuk mengikat bahan-bahan menjadi satu kesatuan yang kuat. Bahan yang akan mengeras bila dicampur dengan air ( $H_2O$ ) atau udara bebas atau lembab dan tidak dapat didaur ulang disebut bahan hidrolis.

Menurut ASTM (American Standard Testing and Material) C-150-07, Semen *portland* terbagi menjadi 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. Penggunaan semen umumnya lebih tinggi di ferosemen dibandingkan penggunaan pada beton bertulang.

b. Agregat

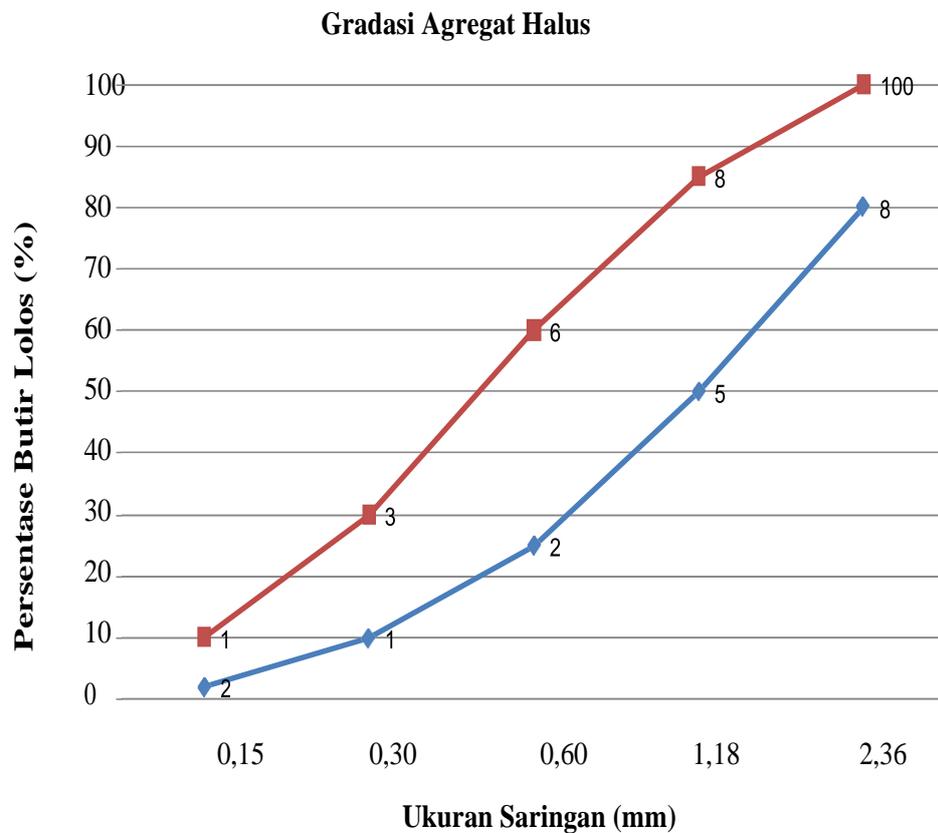
Butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi dari batuan atau batu pecah yang diperoleh dari pemecahan

batu disebut Agregat. Agregat dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat yang digunakan sebagai bahan dasar ferosemen adalah agregat halus, sehingga pada penelitian ini yang dibahas hanya agregat halus. Oleh karena itu, ferosemen merupakan struktur yang lebih ringan jika dibandingkan dengan beton bertulang.

Agregat halus adalah batuan yang ukurannya  $\leq 4,75$  mm (Mulyono, 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 (3,36 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 halus 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 dibawah ini 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).

(Sumber: ACI Committee 549 (1999: 5)).

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 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.

c. Air

Air merupakan salah satu dasar pembuatan mortar yang penting namun harganya murah. Air digunakan 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 dapat digunakan jika memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton/mortar (Mulyono, 2004, 2005: 51).

Menurut ACI Committee (1999: 5) air yang digunakan haruslah segar, bersih dan dapat diminum. Airnya harus bebas dari bahan organik, lumpur, minyak, gula, klorida, dan bahan yang bersifat asam. Jika dites, air tersebut 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. Jaringan Kawat (*wire mesh*)

Jaringan kawat berupa kawat jala yang ringan terbuat dari baja bulat, kawat tersebut berbentuk seragam atau sama dengan bentuk keseluruhannya, pada umumnya kawat jala memiliki bentuk persegi. Menurut Djausal (2004) sifat mekanika ferosemen tergantung pada tipe, jumlah, arah dan kekuatan dari pada kawat jala. Berikut ini merupakan tipe-tipe utama kawat jala yang sering digunakan :

### 1. Kawat Jala Segi Enam

Kawat ini berbentuk segi enam terbuat dari kawat halus, kawat yang biasa digunakan dalam ferosemen memiliki garis dengan  $1/48$  in –  $1/24$  in (0,5 mm – 1,5 mm) dan jarak bukaan antar kawat antara 0,4 in – 1 in (10 mm – 25 mm).

### 2. Kawat Jala Las

Kawat ini lebih kaku dari kawat jala segi enam, terbuat dari kawat berkekuatan rendah sampai sedang. Diameter kawat yang biasa digunakan yaitu 18 – 19 *gauge* dan jarak bukaan  $1/2$  in. kawat ini merupakan kawat yang mudah dibentuk, tetapi pada pertemuan antara dua kawat yang bersilang merupakan bagian yang lemah karena las tidak baik.

### 3. Kawat Anyam Persegi

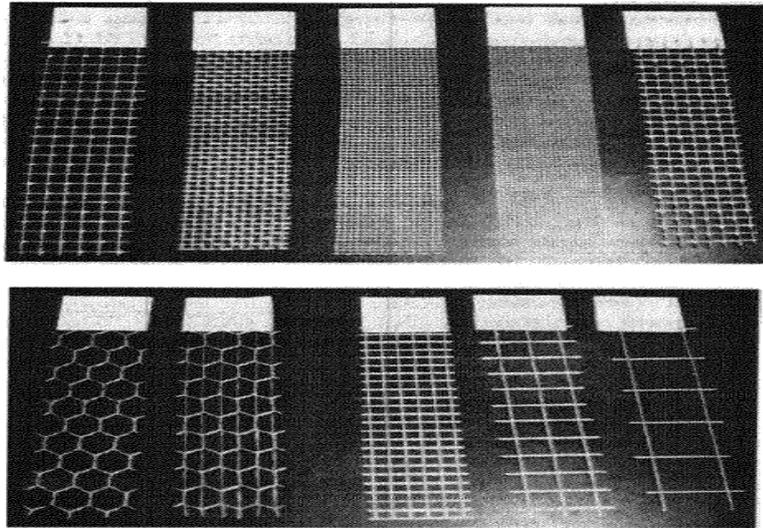
Kawat yang tidak sepenuhnya lurus, namun bergelombang.

Kawat anyam sederhana untuk mendapat lebar bukaan tertentu dan tidak menggunakan las pada pertemuan kawat.

### 4. Kawat Jala Bentuk Wajik

Kawat ini terbuat dari plat baja yang tipis lalu dikembangkan untuk mendapat bukaan yang berbentuk wajik. Kawat ini tidak sekuat kawat persegi atau kawat segi enam, kelemahannya cenderung untuk lepas dari mortar akibat efek “gunting”. Kawat ini juga dikenal sebagai *expanded metal mesh*.

Jaringan kawat termasuk jenis 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, 1998).



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).

### 2.3.3. Analisa

Analisa kapasitas momen nominal yang dilakukan berupa analisa 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.

### A. Analisa Metode Regangan

#### 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. 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)

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

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

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

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

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

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

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

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 :

Mn = momen nominal (Nmm)

C = gaya tekan pada blok tekan mortar (N)

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

Y<sub>C</sub> = jarak gaya tekan ke lengan Tarik (c) (mm)

Y<sub>T</sub> = jarak gaya Tarik ke lengan tekan (c) (mm)

ε<sub>ri</sub> = regangan dari tulangan jaringan pada  
lapisan i (mm)

ε<sub>ry</sub> = regangan leleh nominal dari tulangan  
jaringan (mm)

ε<sub>mu</sub> = 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)

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

$d_i \cdot d_j$  = 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)

## B. Analisa Metode Transformasi Area

### 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. Kapasitas Momen Lentur

Menurut Namaan (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

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

3) Menentukan momen inersia transformasi

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

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 lelah 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 elastis jaringan kawat (MPa)

$E_m$  = modulus elastis 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) ( $\text{mm}^2$ )

#### 2.3.4. Rencana Campuran Mortar

Campuran mortar merupakan hasil perpaduan dari komposit material penyusunnya. Sifat dan karakteristik bahan akan mempengaruhi hasil rancangan. Perancangan yang dilakukan pada 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 (Mulyono, 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 (Mulyono, 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 (Mulyono, 2004, 2005: 158).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sumanto (2012, 2013) perencanaan campuran (*mix design*) menggunakan Metode Volume Absolut. Penggunaan 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 = persentase udara dalam beton/mortar (%)

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

Dengan menghitung berdasarkan harga semen.

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

### 2.3.5. Penggunaan Material Fero semen Pada Bangunan di Indonesia

Penggunaan material fero semen pada bangunan di Indonesia sudah banyak digunakan. Dengan material yang ringan serta merupakan material yang mampu menahan beban gempa maka penggunaan fero semen sangat cocok untuk digunakan sebagai perkuatan suatu bangunan. Berikut ini beberapa bangunan yang ada di Indonsia menggunakan material fero semen sebagai berikut :

### 1. Bangunan Monumental

Bangunan monumental yang menggunakan material ferosemen pertama kali yaitu Menara Masjid di Jl. Cisitua Lama, Bandung tahun 1980, Gerbang Kebun Binatang Ragunan pada tahun 1984 dan Menara Siger di Bakauheni-Lampung yang dibangun tahun 2006.

### 2. Bangunan Atap Masjid

Atap masjid yang menggunakan ferosemen antara lain Masjid Bagus Kuning Palembang dibangun tahun 1985 dengan bentang dari sudut ke sudut 38 meter. Pada masjid Al Abror, Kota Bandar Lampung juga menggunakan ferosemen, tetapi tidak berbentuk kubah melainkan berbentuk datar dengan rib pengaku.

### 3. Jembatan Pejalan Kaki

Jembatan bamboo-semen pertama kali dibuat tahun 1978 di Buniwangi, Pelabuhan Ratu dengan bentang 7,8 meter. Jembatan ini menggunakan tulangan utama yaitu bambu yang dilapisi dengan kawat jala dan mortar.

### 4. Irigasi

Percobaan pertama dilakukan di Sumatera Utara pada *Tidal Rice Project* yaitu pembangunan *Flap Gate* untuk irigasi melalui studi model di ITB (Institut Teknologi Bandung) pada tahun 1982. Selanjutnya digunakan pada saluran irigasi pracetak di Cisadane Jawa Barat dan juga Bekri-Rumbia Lampung.

#### 5. Tangka dan Bak Air

Pusat Peneliti Teknologi ITB dengan nama DTC di tahun 1970-an banyak membuat tangka air dari ferosemen dan bambu-semen. Bak air serta kamar mandi ferosemen dan bambu-semen dibangun untuk daerah pedesaan di Jawa Barat.

#### 6. Perahu dan Dermaga

Ferosemen juga diaplikasikan pada bidang maritim yaitu perahu yang dibuat tahun 1983. Pada tahun 1980/1981 mulai dikembangkan kapal surya di Indonesia untuk bentuk kapal semen ferosemen.

### **2.4. Permodelan Pembebanan Gempa Menggunakan Software SAP 2000**

#### **2.4.1. Model Pembebanan**

Model pembebanan gempa pada penelitian ini menggunakan software SAP 2000, beban gempa yang digunakan berupa beban gempa statik ekuivalen. Beban gempa statik ekuivalen merupakan pembebanan gempa terhadap bangunan gedung menggunakan beban nominal statik ekuivalen, karena langkah awal dalam perencanaan gedung tahan gempa yaitu analisis statik ekuivalen. Berdasarkan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI-1726-2002), analisis statik ekuivalen cukup dapat dilakukan pada gedung yang memiliki standar beraturan. Ketentuan-ketentuan mengenai struktur gedung beraturan disebutkan dalam pasal 4.2.1 dari SNI-1726-2002.

Beban gempa nominal statik ekuivalen yang ditetapkan SNI-1762-2002, perhitungan beban geser dasar nominal statik ekuivalen  $V$  dihitung menggunakan persamaan :

$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_{\pm} \dots \dots \dots \text{Pers. 2.21}$$

Keterangan :

$C_1$  = nilai faktor respons gempa yang didapat dari Spektrum Respons gempa Rencana

$I$  = factor keutamaan

$R$  = faktor reduksi gempa

$W_1$  = berat total gedung

Untuk memperoleh nilai ( $C_1$ ) terlebih dahulu harus diketahui waktu getar alami fundamental ( $T_1$ ).

Beban geser dasar nominal  $V$  tersebut harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen  $F_i$  pada pusat massa lantai tingkat ke- $i$  berdasarkan persamaan:

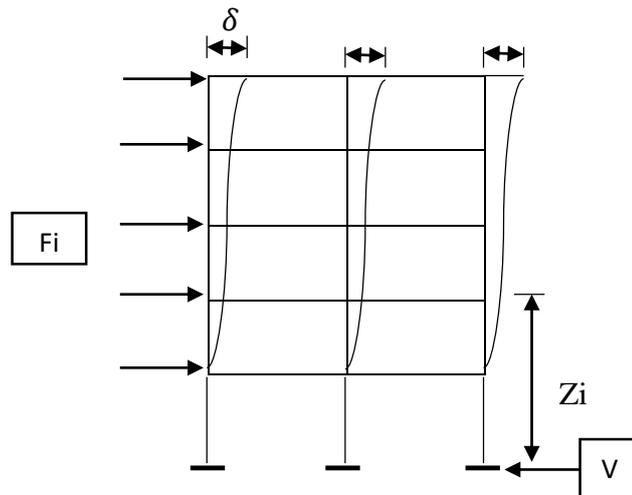
$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^N W_i \cdot Z_i} \times V \dots \dots \dots \text{Pers. 2.22}$$

Keterangan :

$W_i$  = berat lantai tingkat ke- $i$  termasuk beban hidup yang sesuai

$Z_i$  = ketinggian lantai tingkat ke- $i$

$N$  = nomor lantai tingkat paling atas.



Gambar 2.4. Struktur Gedung yang mengalami Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen.

#### 2.4.2. Langkah Dalam Penggunaan SAP 2000 Untuk Melakukan Analisis Statik Ekuivalen

Berdasarkan penelitian (Darmadi, 2017) adapun langkah-langkah dalam penggunaan Software SAP 2000 untuk melakukan analisis statik ekuivalen yaitu sebagai berikut :

1. Menggambarkan geometri struktur, mendefinisikan penampang, material dan besarnya, serta melakukan *assign* penampang dan material tersebut pada program SAP 2000.
2. Menentukan  $W_i$  (berat lantai tingkat ke- $i$ ) dengan kombinasi pembebanan =  $DL+LL_R$  (umumnya diambil  $LL_R = 0,3 LL$ ). Supaya mudah output  $W_i$  pada *show group joint force sum* akibat kombinasi pembebanan  $DL+0,3 LL$  sebaiknya dibuat *group name* untuk frame dan joint pada setiap tingkat.
3. Menginput massa tiap tingkat ( $m_i$ ) dengan menggunakan *joint masses*, dan membuat rigid floor diaphragma.

4. Karena massa tiap tingkat telah diinput dengan menggunakan *joint masses*, maka definisi massa material menjadi nol, lalu dapat dilakukan analisis dinamik untuk mencari  $T_1$ .
5. Setelah  $T_1$  didapat maka dengan SNI-1726-2002 akan diperoleh besarnya  $V$  (base shear) yang selanjutnya dapat dihitung  $F_i$ . Masukkan  $F_i$  sebagai beban gempa (*assign joint static load force global x*).
6. Langkah terakhir dapat dilakukan analisis statik biasa dan sekaligus dapat mendesain struktur gedungnya, apakah dengan struktur beton bertulang atau dengan struktur baja.

## 2.5. Penelitian Terdahulu

Ikatan Ahli Kebencanaan Indonesia (IABI) telah melakukan penelitian tentang analisa resiko gempa bumi di daerah Bandar Lampung menggunakan metode *horizontal to vertical spectrum ratio (HVSR)* mikrotremor pada tahun 2016. Penelitian yang dilakukan untuk menentukan nilai kerentanan bencana gempa bumi di daerah Bandar Lampung yang menghasilkan kurva HVSR agar mendapatkan nilai frekuensi natural ( $f_0$ ) dan nilai puncak perbandingan *spectrum* horizontal dan vertikal H/V ( $A_0$ ). Pengambilan data dilakukan pada tiga titik yaitu Kemiling, Kedaton, dan Panjang. Pada tahap penelitian ini meliputi :

1. Pengukuran data lapangan meliputi pengukuran mikrotremor 3 komponen.

2. Pengolahan data pengukuran berupa *import* sinyal, pemilihan lebar window, analisis FFT (*Fast Fourier Transform*), pembuatan kurva HVSR dan penentuan frekuensi natural..
3. Analisis dan kesimpulan.

Berdasarkan hasil analisis nilai frekuensi natural pada daerah Kemiling sebesar 0,3Hz, Kedaton sebesar 0,1Hz, dan daerah panjang 0,2Hz. Berdasarkan ketiga wilayah tersebut membandingkan nilai tersebut kedalam referensi tabel zona kerentanan gempa bumi maka didapatkan hasil bahwa daerah tersebut berada pada zona tinggi gempa bumi karena nilai frekuensi didapatkan kurang dari 1,5Hz. Oleh karena itu, pentingnya perkuatan pada struktur bangunan agar dapat menahan beban gempa bumi sehingga dapat meminimalisir kerusakan atau menghindari kerusakan yang terjadi.

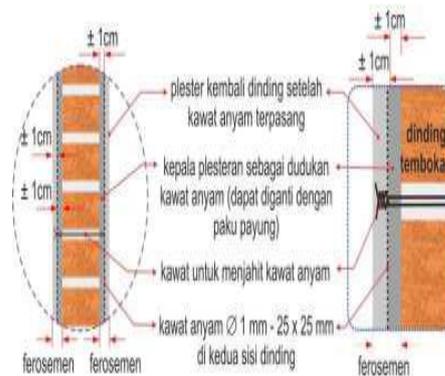
Sulfani dkk. (2013) melakukan penelitian menggunakan kolom yang dilapisi ferosemen ditemukan peningkatan kekuatan dengan menambah lapisan kawat ayam pada ferosemen. Ferosemen juga akan mengalami peningkatan kekuatan apabila penambahan tebal ferosemen dilakukan serta kolom yang dilapisi ferosemen juga membuat retak yang terjadi pada kolom merata sepanjang kolom.

Darmadi 2017, melakukan penelitian pembebanan gempa menggunakan software SAP 2000. Adapun langkah-langkah dalam penggunaan Software SAP 2000 untuk melakukan analisis statik ekuivalen yaitu sebagai berikut :

1. Menggambarkan geometri struktur, mendefinisikan penampang, material dan besarnya, serta melakukan *assign* penampang dan material tersebut pada program SAP 2000.
2. Menentukan  $W_i$  (berat lantai tingkat ke- $i$ ) dengan kombinasi pembebanan =  $DL+LL_R$  (umumnya diambil  $LL_R = 0,3 LL$ ). Supaya mudah output  $W_i$  pada *show group joint force sum* akibat kombinasi pembebanan  $DL+0,3 LL$  sebaiknya dibuat *group name* untuk frame dan joint pada setiap tingkat.
3. Menginput massa tiap tingkat ( $m_i$ ) dengan menggunakan *joint masses*, dan membuat rigid floor diaphragma.
4. Karena massa tiap tingkat telah diinput dengan menggunakan *joint masses*, maka definisi massa material menjadi nol, lalu dapat dilakukan analisis dinamik untuk mencari  $T_1$ .
5. Setelah  $T_1$  didapat maka dengan SNI-1726-2002 akan diperoleh besarnya  $V$  (*base shear*) yang selanjutnya dapat dihitung  $F_i$ . Masukkan  $F_i$  sebagai beban gempa (*assign joint static load force global x*).
6. Langkah terakhir dapat dilakukan analisis statik biasa dan sekaligus dapat mendesain struktur gedungnya, apakah dengan struktur beton bertulang atau dengan struktur baja.

Pada Tahun 2014, Teddy Boen menggunakan analogi *sandwich* untuk perkuatan dinding tembokan dibalut ferosemen di kedua sisinya (artinya tidak seluruh dinding tembokan ditutup dengan ferosemen. Tebal lapisan ferosemen kira-kira 10-15mm menggunakan adukan pasir – semen

mutu baik tidak menggunakan agregat kasar dan tulangan terdiri satu atau beberapa lapis kawat anyam diameter kecil yang terletak ditengah-tengah matriks adukan semen.



Gambar 2.5. Dudukan kawat anyam dari plesteran.

Percobaan meja getar skala penuh untuk cara perkuatan dengan balutan ferosemen ini juga sudah dilakukan di Tsukuba pada bulan Juni 2014. Rekaman gempa yang digunakan adalah JMA (Japan Meteorological Agency) Kobe 100% (0,88g) dan diteruskan sampai dengan 2g. Dinding tembokan yang dibuat dengan ferosemen sangat kuat, seperti dapat dilihat dari gambar dibawah ini.



Gambar 2.6. Rumah Model A dan B sebelum dilakukan percobaan meja getar.



Gambar 2.7. Akibat Getaran JMA Kobe 2g : Model A roboh, Model B tetap utuh.

Analisa dengan analogi *sandwich* ini, menunjukkan bahwa kekuatan dinding tembokan (dari bata, batako, atau beton ringan) ternyata sangat meningkat sehingga kuat kalau digoncang gempa. Hasil percobaan meja getar skala penuh rumah tembokan yang dilakukan oleh NIED di Tsukuba, untuk rumah tembokan yang dibalut ferosemen (tahun 2014), sesuai dengan hasil analisisnya. Jadi artinya rumah tembokan yang dibalut dengan ferosemen betul tahan terhadap gempa yang dapat terjadi di Indonesia.