

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sejarah Fero semen

Sejarah fero semen yang diawali tahun 1850, ketika beton bertulang pertama kali diperkenalkan di Perancis. Pada tahun 1845, Jean Louis Lambot, tuan tanah dari Perancis, membuat beberapa perahu dayung, pot bunga, tempat duduk dan beberapa benda lainnya dari bahan yang disebutnya “Ferciment” dalam sebuah patent yang didapatnya dalam tahun 1852. Dalam patent terbaca sebagai berikut:

“Penemuan saya adalah sebuah produk baru yang dapat menggantikan kayu (untuk lantai kayu, penampung air, pot bunga, dan lain-lain) yang dapat rusak karena air atau kelembaban. Dasar dari bahan baru ini adalah kawat jala atau batang besi yang saling berhubungan yang membentuk anyaman yang lentur”.
“Saya bentuk jala ini ke bentuk yang saya rencanakan dan ingin saya ciptakan kemudian saya gunakan semen hidrolis atau bitumen tar atau campuran untuk mengisi sambungan-sambungan.”

Dasar pemikiran dari bahan ini adalah bahwa beton dapat menerima regangan yang besar di sekitar tulangan, dan besarnya regangan tergantung pada penyebaran dan pembagian tulangan melalui beton yang bersangkutan. Struktur fero semen yang direncanakan juga memiliki keuntungan dalam pembuatan

produknya ataupun komponennya karena mudah dibentuk dalam kesatuan konstruksi.

Perahu dayung Lambot yang dibuat pada tahun 50-an saat ini berada di museum Brignoles, Perancis. Perahu yang dibuat berukuran panjang 3,66 m, lebar 1,12 m, dan ketebalan dinding 0,025 m – 0,038 m dengan dilapisi tulangan kawat jala. Pada akhir abad sembilan belas banyak perahu yang mengikuti jejak lambot. Salah satu yang menonjol adalah Gabellini dan Boon, yang membuat sekoci terkenal Zeemeeuw, pada tahun 1887.

(Djausal, Anshori: 2004)

Pada awal tahun 40-an, seorang insinyur Italia yang terkemuka, Pier Luigi Nervi membangkitkan kembali pemikiran awal dari ferosemennya Lambot ketika ia mendapatkan bahwa penulangan beton dengan lapisan-lapisan kawat jala menghasilkan bahan dengan sifat mekanik yang setara dengan bahan yang homogen dan menunjukkan tahan terhadap beban dampak yang tinggi. Prof Nervi mengajukan sifat-sifat dasar dari fero semen tersebut dari beberapa percobaan yang dilakukannya.

Seusai Perang Dunia Kedua, Nervi menggunakan fero semen untuk konstruksi bangunan. Kemudian juga angkatan laut Italia menerima fero semen sebagai bahan untuk keperluan maritim, sejumlah kapal fero semen dibuat dalam waktu tersebut. Nervi juga mempelopori penggunaan fero semen untuk keperluan arsitektur dalam bangunan. Ia membuat gudang penyimpanan kecil dari fero semen pada tahun 1947. Kemudian ia membuat atap kolam renang pada akademi Angkatan Laut

Italia dengan bentang 15 m dan gedung pameran Turin yang terkenal dengan sistem atapnya yang mempunyai bentang 91 m. penelitian dan penerapan fero semen lebih lanjut makin menonjol, terutama pada tiga puluh tahun terakhir ini dan sebagai bahan konstruksi, fero semen telah digunakan pada terapan yang luas sekali.

(Djausal, Anshori: 2004)

Pada tahun 1977 dibentuklah komisi 549 oleh *American Concrete Institute* (ACI) tentang fero semen yang bertujuan untuk mempelajari dan melaporkan pelaksanaan konstruksi, sifat teknis, dan terapan teknis dari fero semen dan bahan yang serupa, kemudian mengembangkan standar dan petunjuk untuk konstruksi fero semen.

Komisi ACI ini melakukan diskusi yang berarti mengenai definisi fero semen; kemudian telah disetujui pengelompokan beberapa definisi yang didapat dari berbagai sumber, yang dapat diterima profesi keinsinyuran.

Melalui diskusi dengan berbagai sumber pendekatan, maka kejelasan definisi struktur fero semen makin tampak setelah komisi 549 ACI mengemukakan tugas pertama komisi tersebut untuk mendefinisikan fero semen sebagai bahan konstruksi. Definisi tersebut: “fero semen adalah semacam konstruksi beton bertulang tipis, dimana biasanya semen hydraulis ditulangi dengan lapisan-lapisan jala yang bergaris tengah kecil dan menerus. Lapisan jala dapat terbuat dari bahan metal atau bahan lain yang cocok digunakan.”

Dengan meningkatnya minat baik di negara maju ataupun negara berkembang, keuntungan penggunaan fero semen makin tampak. Dengan demikian jelaslah bahwa fero semen tidak diragukan lagi dan telah dapat diterima sebagai bahan untuk terapan konstruksi. Juga dengan kombinasi bahan lainnya, fero semen dapat digunakan untuk bermacam-macam terapan struktur.

(Djausal, Anshori: 2004)

B. Potensi Fero semen di Indonesia

Di Indonesia, fero semen sudah dikenal dan dikembangkan sejak tahun 1977 melalui program pengembangan desa oleh Institut Teknologi Bandung. Beberapa penelitian dan penerapan yang dilakukan pada masa permulaan ini berupa tangki air, perahu untuk memancing, dan saluran irigasi. Selanjutnya pada tahun 1980-an teknologi fero semen mulai digunakan pada beberapa proyek di lingkungan Departemen Pekerjaan Umum.

Fero semen pada saat ini sudah diterapkan pada berbagai bidang (perumahan, struktur irigasi, dan sebagainya) dan tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia (Aceh, Riau, Jambi, Palembang, Lampung, Jakarta, Bandung, Solo, Yogyakarta, Bali, Lombok, Samarinda, Balikpapan, Manado, Palu, Ujung Pandang). Pengembangan fero semen di berbagai wilayah Indonesia didasarkan pada aplikasi lapangan dan pertimbangan keuntungannya bagi masyarakat. Bahkan sebagian besar konstruksinya seringkali melibatkan masyarakat sekitar sehingga terjadi transfer teknologi fero semen.

Lebih dari 25 tahun aplikasi fero semen telah ada di Indonesia, diawali dengan struktur-struktur pantai. Setelah tahun 1978 ada pertumbuhan yang menarik untuk perkembangan dari teknologi fero semen untuk aplikasi-aplikasi yang lain disamping melibatkan aplikasi pada tingkat yang lebih tinggi. Aplikasi tersebut adalah perumahan, struktur bangunan monumental, dan struktur-struktur irigasi. Selanjutnya bermunculan beberapa ahli dan teknisi yang menciptakan konstruksi fero semen sehingga pada masa sekarang konstruksi fero semen ini lebih banyak dikenal di kalangan akademisi, masyarakat dan praktisi bidang konstruksi dalam berbagai bentuk konstruksi.

C. Aplikasi Fero semen di Indonesia

Fero semen merupakan material yang dapat dipergunakan dalam beberapa bidang aplikasi konstruksi. Aplikasi fero semen yang sudah dilakukan di Indonesia, sebagian besar dikelompokkan pada dua kategori, yaitu:

- a) Aplikasi pada bidang kelautan (*marine applications*), dan
- b) Aplikasi yang berkaitan dengan bangunan teknik sipil (*terrestrial application*), seperti perumahan, pertanian, sanitasi, energi, jembatan, konstruksi, seni dan arsitektur.

D. Pengertian Fero semen

Fero semen yaitu istilah yang digunakan untuk menjelaskan suatu bentuk beton bertulang yang berbeda dari beton bertulang biasa atau beton pratekan, terutama dari bahan dan cara pemasangan tulangan. Bahan dan cara penulangan yang sedemikian rupa dan bahan komposit yang terbentuk memberikan sifat-sifat yang

sangat berbeda dengan beton bertulang biasa dalam hal kekuatan terhadap deformasi, dan kemungkinan terapanannya sehingga dapat dibedakan sebagai bahan lain. Berbeda dari beton bertulang biasa dalam penulangan yang terdiri dari tulangan yang rapat, beberapa lapis kawat jala atau kawat halus yang diisi dengan semen mortar. Bahan ini dapat dibentuk sebagai bidang yang tipis, biasanya kurang dari 0,0025 m dengan selimut semen mortar yang tipis di atas lapisan tulangan.

Sementara beton biasanya beberapa kali lebih tebal dan dibentuk dengan cetakan, sedangkan fero semen bisa tanpa cetakan.

Fero semen adalah beton tipis yang dibentuk dari mortar yang diberi tulangan pengaku dan kawat jala sebagai tulangan utamanya. Definisi fero semen menurut *ACI Committee 549* yang disetujui oleh *Ferro semen Model Code* yang dikeluarkan oleh *International Forrecement Society (TFS)*, fero semen adalah suatu tipe dinding beton bertulang tipis yang biasanya dibentuk dari mortar semen hidrolis yang diberi beberapa lapisan kawat yang rapat yang menerus dan memiliki diameter kawat yang relatif kecil. Kawat tersebut terbuat dari logam atau bahan lain yang cocok digunakan. Kehalusan dan komposisi mortar harus sebanding dengan jarak dan kekencangan dari sistem kawat jala.

Fero semen terbuat dari bahan mortar yaitu campuran antara semen, pasir, dan air dengan perbandingan tertentu yang diberi beberapa lapis kawat jala dan tulangan baja sebagai pengikat. Fero semen memiliki ketebalan antara 0,006 m – 0,005 m dengan volume fraksi tulangan mencapai 8%.

E. Perbedaan antara Fero semen dan Beton Bertulang

Fero semen pada dasarnya adalah tidak jauh berbeda dengan beton bertulang yang dibuat dari susunan semen, air, agregat, dan tulangan. Perbedaan yang paling mendasar adalah fero semen digunakan hanya agregat halus tanpa agregat kasar dan penulangan kawat yang lebih halus ($0,0005\text{ m} - 0,025\text{ m}$) dengan bukaan rapat. Dari beberapa percobaan menunjukkan bahwa fero semen dengan penulangan lapisan kawat jala yang halus dan bukaan kecil menghasilkan bahan yang lebih menyatu (homogen) dan ketahanan yang lebih tinggi dibandingkan beton bertulang. Perbedaan lainnya dapat dilihat dari berbagai aspek, yaitu ketahanan retak, ketahanan tarik, ketahanan lentur, ketahanan tekan, dan sifat kedap air.

1. Ketahanan Retak

Fero semen yang dibuat dari susunan kawat jala dan adukan mortar memiliki kemampuan menahan retak dan modulus elastisitas yang tinggi. Keruntuhan suatu bahan pada pembebanan tarik umumnya terjadi melalui penyebaran retak tegak lurus pada arah pembebanan. Retak akan menyebar bila tingkat elastisitas energi yang dilepaskan sama, atau lebih besar daripada energi yang diperlukan untuk memperlebar retak. Dari berbagai percobaan terbukti bahwa ketahanan bahan terhadap retak dapat ditingkatkan dengan mengurangi panjang retak dan memperbesar modulus elastisitas. Keberadaan kawat jala dalam fero semen yang halus dan rapat dapat mengurangi retak sekaligus meningkatkan nilai modulus elastisitas. Dengan demikian fero semen lebih tahan terhadap retak dibandingkan beton bertulang biasa dalam kondisi penulangan normal.

2. Ketahanan Tarik

Kemampuan fero semen dalam menahan beban tarik berbeda dengan sifat beton bertulang. Adanya penulangan yang rapat, tersebar merata, dan halus pada fero semen menyebabkan permukaan spesifik tulangan (rasio tulangan) lebih kurang 10 kali lipat dibandingkan tulangan pada beton-beton bertulang sehingga retak yang terjadi akibat gaya tarik lebih halus dan lebih merata. Selain itu dengan adanya tulangan melintang pada kawat jala maka dapat mengurangi proses terjadinya pelebaran retak.

3. Ketahanan Lentur

Sifat fero semen dalam menahan beban lentur juga berbeda dengan beton bertulang. Fero semen yang disusun dari beberapa lapis kawat jala cenderung terjadi penulangan berlebih (*over reinforced*) sehingga ketahanan terhadap lentur juga meningkat. Namun kondisi penulangan berlebih ini tidak mengakibatkan terjadinya keruntuhan seketika (*sudden failure*). Pada saat beban lentur bertambah, lendutan yang terjadi tidak signifikan terhadap momen retaknya (*cracking moment*). Selain itu lebar retak yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang biasa yang juga diberi beban lentur.

4. Ketahanan Tekan

Kekuatan fero semen dalam menahan beban tekan/desak sangat ditentukan oleh kekuatan mortar (campuran semen, pasir dan air). Komposisi mortar fero semen memiliki kandungan semen yang lebih banyak dibandingkan beton bertulang

biasa dengan perbandingan berat semen terhadap pasir antara 1 - 2,5 dan perbandingan berat air terhadap semen antara 0,35 – 0,6. Dengan kandungan semen yang banyak dan faktor air semen yang kecil akan menghasilkan mortar yang memiliki kekuatan tinggi berkisar 280-705 kg/cm² jauh lebih tinggi dibandingkan kuat tekan standar untuk beton bertulang yaitu 225-500 kg/cm².

5. Sifat Kedap Air

Dengan kandungan semen banyak yang dicampur dengan butiran agregat halus tanpa agregat kasar maka ferosemen memiliki susunan partikel yang lebih rapat/padat sehingga sifat kedap airnya juga lebih baik dibandingkan dengan beton bertulang. Adanya kawat jala sebagai tulangan yang tersebar merata sangat membantu sifat kedap air tersebut sebab mampu melokalisir retak yang terjadi. Retak yang terjadi akibat sifat susut mortar maupun akibat beban-beban lain akan ditahan agar tidak menyebar atau membesar sehingga lebar retak di permukaan akan tetap kecil. Berbeda dengan beton bertulang yang jarak antara tulangannya cukup besar sehingga cenderung tidak dapat melokalisir retak. Retak yang terus memanjang berakibat lebar retak semakin membesar sehingga dapat menurunkan sifat kedap airnya.

F. Aplikasi Bahan Ferosemen

Berdasarkan definisi dan perkembangan ferosemen maka bahan ferosemen secara umum dapat diterima sebagai bahan konstruksi. Beberapa keuntungan utama ferosemen diantaranya adalah: kemudahan dalam pengerjaan karena tekniknya tidak banyak berbeda dengan teknik bahan bangunan biasa (mortar dan beton),

bahan mudah didapat, volume bahan yang digunakan relatif lebih sedikit. Bila ditinjau dari segi struktur, bahan fero semen sangat sesuai untuk struktur shell dan folded plate (pelat lipat) karena struktur fero semen relatif tipis maka sangat memungkinkan untuk dikembangkan konstruksi pracetak ataupun cast in situ. Secara umum konstruksi fero semen dapat digolongkan ke dalam 3 kelompok utama, yaitu: konstruksi maritim, konstruksi bangunan, konstruksi kedap air, dan konstruksi monumen (seni arsitektur).

1. Konstruksi Bangunan

Penggunaan fero semen untuk bahan bangunan dirintis pertama kali oleh Prof. Nervi dengan membangun beberapa gedung besar di Italia yang beratapkan fero semen. Dengan menggunakan prinsip struktur shell atau *corrugated shape* bahan fero semen dapat digunakan pada konstruksi bangunan dengan sangat berarti seperti untuk atap, dinding, atau lantai.

Penggunaan bahan fero semen untuk konstruksi atap sangat sesuai karena sifat kekuatan yang tinggi dan penampang yang tipis. Sejak 40 tahun yang lalu di Rusia telah banyak dibuat bangunan dengan atap fero semen dan hingga saat ini sudah lebih dari 10 juta m² luas atap fero semen yang dibangun. Perubahan sistem produksi dari manual ke produksi mesin memungkinkan perluasan penerapan fero semen dengan sangat berarti dan kontrol kualitas yang tinggi. Perkembangan atap fero semen juga terjadi di Polandia, New Zealand, Pilipina dan negara lainnya. Bahan fero semen untuk struktur dinding dan lantai juga sudah dilakukan di Israel dan Amerika. Dengan perkembangan teknologi pracetak maka dimungkinkan sistem produksi mesin (*mass production*), percepatan konstruksi

dan jaminan kualitas. Aplikasi fero semen untuk atap dan dinding juga sudah banyak dilakukan di Indonesia yang sebagian besar diterapkan untuk masjid atau bangunan lainnya.

2. Konstruksi Kedap Air

Aplikasi fero semen dengan mengandalkan sifat kedap airnya cukup luas baik dari terapan maupun dari kapasitas yang dimungkinkan. Fero semen sangat cocok untuk tangki air dan karena relatif tipis sehingga biaya konstruksi jauh lebih murah dibandingkan bak atau tangki air dari bahan beton bertulang. Penerapan fero semen untuk tangki air dan sanitasi sudah banyak diterapkan di Thailand, India, Kepulauan Solomon dan juga Indonesia. Kapasitas tangki bervariasi sesuai dengan kebutuhan dari 200 hingga 5000 galon. Selain untuk kebutuhan rumah tangga, tangki air fero semen juga dapat digunakan untuk penyimpanan air di gedung bertingkat seperti di Bangladesh dan di Singapore yang menggunakan bahan bambu untuk tulangan pembentuknya. Di Thailand ada satu perusahaan yang memasarkan tangki air fero semen kapasitas 1800 liter untuk masyarakat umum. Sedangkan di New Zealand tangki air yang dibangun dapat mencapai 20.000 liter. Selain tangki air fero semen dengan kekedapannya dapat digunakan untuk tangki penyimpan gas, tangki pengawet/penyimpan makanan, sanitasi (*septictank*), saluran air dan pintu air.

3. Konstruksi Monumen

Konstruksi monumen adalah hasil karya seni arsitektur yang bernilai tinggi dengan citra dan aspirasi tersendiri sehingga dapat menjadi suatu *land mark* yang

sekaligus melambangkan semangat dan citra tertentu. Bentuk monumen yang tidak seperti bangunan pada umumnya memerlukan suatu pertimbangan pemilihan bahan dan teknik konstruksi yang paling efektif. Bahan fero semen yang kuat, tipis dan mudah dibentuk sesuai dengan yang dikehendaki menjadikannya lebih unggul dibandingkan bahan konstruksi lainnya. Aplikasi fero semen untuk bangunan monumen sudah banyak dilakukan di berbagai negara. Di Indonesia konstruksi monumen sudah dibangun adalah Pintu Gerbang Kebun Binatang Ragunan Jakarta pada tahun 1984. Gerbang ini menggambarkan simbol metaphor dari dua satwa yang sedang bercengkrama sambil mendongak optimis melihat jauh ke ufuk.

G. Material Pembentuk Fero semen

Fero semen dibuat dari adukan mortar dan diberi beberapa lapisan kawat baja (*wiremesh*) sebagai tulangan utama dan dapat dipasang tulangan baja sebagai tulangan pembentuk dan pengikat rangka sebelum dicor. Secara umum material pembentuk fero semen terdiri dari campuran mortar (semen, pasir, dan air), kawat jala, dan tulangan pengikat.



Gambar 2.1 Tulangan fero semen

1. Semen

Semen merupakan material pembentuk ferosemen yang berfungsi sebagai bahan pengikat dalam adukan mortar. Mortar semen digunakan sebagai bahan pengisi ruang kosong antar kawat jala, sehingga terbentuk massa yang padat yang kedap air. Umumnya semen yang digunakan adalah semen portland yang penggunaannya dapat disesuaikan dengan lokasi dan fungsi struktur. Menurut Surya Sebayang, sistem hidrolik adalah semen yang mengeras apabila dicampur dengan air dan setelah mengeras tidak akan mengalami perubahan kimia jika dikenai air. Semen Portland adalah semen yang diperoleh dengan mencampur bahan-bahan yang mengandung kapur dan lempung, membakarnya pada temperatur tinggi yang mengakibatkan terbentuknya klinker dan kemudian menghaluskan klinker dan dicampur dengan gips sebagai bahan tambahan. Dalam penelitian sebelumnya dinyatakan bahwa beberapa bagian dari semen dapat digantikan dengan *fly ash*.

Fungsi semen dalam campuran mortar adalah untuk merekatkan butiran-butiran agregat agar dapat menjadi satu kesatuan massa yang padat dan untuk mengisi rongga-rongga kosong antar agregat tersebut.

2. Pasir

Bahan pasir ini menempati 70% sampai 95% dari volume mortar, karena itu, penggunaan agregat untuk ferosemen haruslah dengan mutu yang baik agar didapat mutu mortar yang tinggi. Pasir yang digunakan harus kuat dan dapat

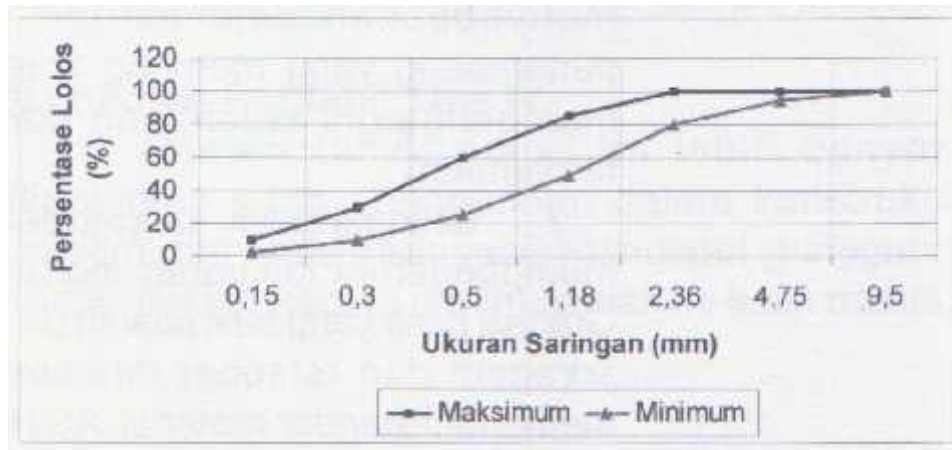
menghasilkan adukan yang baik dengan perbandingan air/semen minimum untuk mencapai penetrasi yang baik ke dalam kawat jala.

Pasir yang digunakan umumnya adalah pasir alam yang dapat terdiri dari silika, batuan basalt atau koral halus. Pemilihan pasir haruslah berhati-hati; pasir yang tidak keras dapat rusak akibat abrasi dan reaksi kimia. Bahan-bahan yang porous dapat menyebabkan kelembaban masuk ke dalam penampang yang memang tipis, yang jelas akan mempengaruhi ketahanan dan bentuk struktur ferosemen. Gradasi pasir sangatlah penting karena akan mempengaruhi kekuatan mortar yang dihasilkan. Gradasi pasir yang baik adalah ukuran butirannya tidak seragam dan tersebar di beberapa ukuran serta memenuhi standar material ASTM C33-74a tentang batasan gradasi agregat halus untuk agregat beton seperti terlihat pada tabel 2.1 dan gambar 2.2

Ayakan no.	Persentase lewat
3/8 in (9.50 mm)	100
no. 4 (4.75 mm)	95 s/d 100
no. 8 (2.36 mm)	80 s/d 100
no. 16 (1.18 mm)	50 s/d 85
no. 30 (600 mm)	25 s/d 60
no. 50 (300 mm)	10 s/d 30
no. 100 (150 mm)	2 s/d 10

Tabel 2.1 ASTM C33-74a. Spesifikasi gradasi pasir

Sumber : Djausal, Anshori. 2004. Pengantar Ferosemen. Pusat Pengembangan Ferosemen Indonesia. Bandar Lampung.



Gambar 2.2 Batas gradasi pasir

Sumber : Djausal, Anshori. 2004. Pengantar Fero semen. Pusat Pengembangan Fero semen Indonesia. Bandar Lampung.

3. Air

Air diperlukan untuk membantu proses pencampuran semen dengan pasir sehingga adukan tersebut dapat mengeras. Pada umumnya standar air yang digunakan harus memenuhi standar mutu air minum. Air tersebut harus bersih dan bebas dari garam yang dapat merusak mortar ataupun tulangnya serta tidak mengandung zat yang dapat menyebabkan kerusakan fero semen bila konstruksi berhubungan dengan air laut.

4. Bahan Tambahan (*Addmixtures*)

Umumnya, adukan tambahan digunakan untuk mengubah atau meningkatkan sifat bahan. Banyak adukan tambahan digunakan untuk meningkatkan kemudahan kerja (*workability*), mengurangi kebutuhan air dan tidak memperpanjang waktu pengerasan mortar. Adukan tambahan dapat dibagi dalam kelompok-kelompok

menurut penggunaannya. Umumnya menurut ASTM C494-71 (Djausal, Anshori: 2004) :

1. Tipe A : adukan tambahan pengurangan air,
2. Tipe B : adukan tambahan perlambatan pengerasan
3. Tipe D : adukan tambahan pengurangan air dan perlambatan pengerasan
4. Tipe E : adukan tambahan pengurangan air dan percepatan pengerasan

Banyak adukan tambahan biasanya hanya satu persen dari keseluruhan berat semen dalam adukan mortar, sehingga kadang-kadang perlu digunakan alat ukur yang teliti. Sebagai tambahan terhadap macam additif yang biasa digunakan pada beton biasa dan fero semen, fero semen juga memerlukan tambahan bahan kimia untuk mengurangi reaksi kimia antara semen mortar dan tulangan galvanis, chromium trioksida ditambahkan pada air yang digunakan konsentrasinya tergantung pada perbandingan air dan semen, lebih kurang 300 ppm dari berat semen mortar.

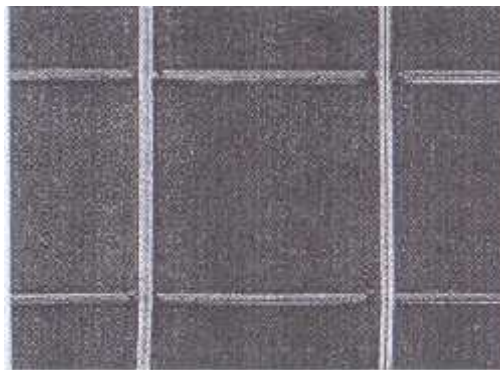


Gambar 2.3. Kawat jala segi enam.

Sumber : Djausal, Anshori. 2004. Pengantar Fero semen. Pusat Pengembangan Fero semen Indonesia. Bandar Lampung.

5. Tulangan

Tulangan untuk fero semen biasanya beberapa lapis kawat jala dan besi beton biasa. Berbagai macam kawat jala ukuran dan sifatnya, ada yang digalvanisir (diberi lapisan tahan karat) sebelum dianyam dan ada yang sesudah dianyam. Sifat dan kekuatan fero semen yang terbentuk akan dipengaruhi oleh ukuran tulangan, kekuatan, kelakuan, cara pembuatan, dan pengolahannya.

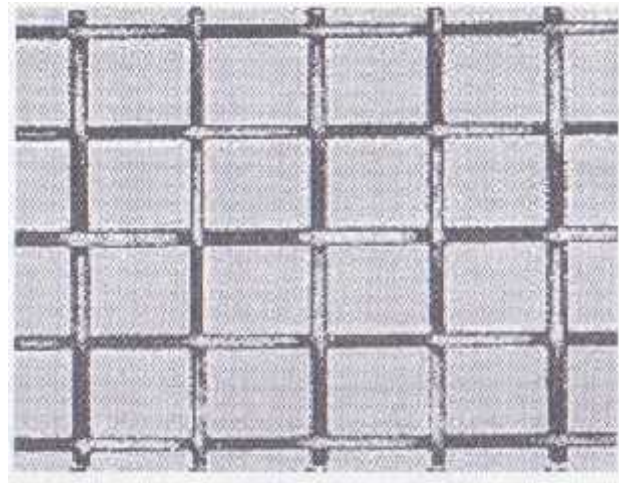


Gambar 2.4 Kawat jala las segi empat

Sumber : Djausal, Anshori. 2004. Pengantar Fero semen. Pusat Pengembangan Fero semen Indonesia. Bandar Lampung.

5.1. Tulangan Kawat Jala

Salah satu bagian yang terpenting dari fero semen adalah kawat jala. Berbagai macam kawat jala bisa didapatkan di pasaran, kawat jala ini terdiri dari kawat halus, garis tengah tidak lebih dari (0,0015 m) baik dianyam ataupun dilas dalam bentuk jala. Syarat utama adalah mudah dibentuk, cukup lentur untuk dilekukkan pada sudut konstruksi lengkung atau tajam.



Gambar 2.5 Kawat anyaman las segi empat

Sumber : Djausal, Anshori. 2004. Pengantar Fero semen. Pusat Pengembangan Fero semen Indonesia. Bandar Lampung.

Kegunaan kawat jala atau tulangan baja pertama-pertama adalah sebagai pepupuh yang membentuk rangka dan menahan mortar pada saat basah. Pada keadaan setelah mengeras gunanya untuk menerima tegangan tarik dimana mortar sendiri tidak bisa menerimanya.

Sifat mekanika fero semen sangat bergantung pada tipe, jumlah, arah dan kekuatan daripada kawat jala dan baja tulangan. Beberapa tipe utama kawat jala yang sering digunakan adalah:

a. Kawat jala segi enam (kawat ayam)

Kawat ini lebih populer digunakan dan mudah didapat di pasaran negara-negara berkembang. Dikenal sebagai kawat ayam, murah dan mudah dikerjakan. Kawat jala ini dibuat dari kawat halus ke dalam bentuk segi enam. Kawat yang digunakan dalam fero semen biasanya bergaris tengah 0,0005 m sampai 0,0015 m, dan jarak bukaan antara kawat antara 0,010 m sampai 0,025 m. Dapat digalvanisir

sebelum ataupun sesudah dianyam. Kawat yang tidak digalvanisir juga digunakan tetapi masalah karat yang timbul ketika ditempatkan pada tempat terbuka menyebabkan pengurangan kekuatan. Contoh macam kawat jala ini dapat dilihat pada gambar 2.3.

b. Kawat jala las

Kawat jala ini terbuat dari kawat berkekuatan rendah sampai sedang dan lebih kaku daripada kawat jala segienam. Kawat jala ini mudah dibentuk, tetapi pertemuan antara dua kawat yang bersilangan merupakan bagian yang lemah akibat las yang tidak baik pada waktu pembuatan kawat jala. Beberapa percobaan menunjukkan bahwa kawat jala yang dibuat dari kawat berkekuatan tinggi lebih cenderung luluh daripada jenis kawat lain, ketika sambungan mendapat beban. Untuk kontur konstruksi yang lengkung, kawat jala ini lebih sukar untuk digunakan. Kecenderungan tertekuk atau patah lebih banyak daripada kawat lain. Contoh macam kawat jala ini pada gambar 2.4.

c. Kawat anyam persegi

Macam kawat jala ini, dimana kawat dianyam sederhana untuk mendapat lebar bukaan tertentu dan tidak menggunakan las pada pertemuan kawat. Kawat tidak sepenuhnya lurus, tetapi bergelombang. Beberapa percobaan menunjukkan kekuatan yang sama ataupun lebih baik daripada jenis kawat jala lain. Hanya kesukaran pada penggunaan kawat jala ini adalah susah mengikuti bentuk yang diinginkan. Contoh macam kawat jala ini pada gambar 2.5.

d. Kawat jala bentuk wajik

Kawat jala ini lebih dikenal sebagai *expanded metal mesh* (Gambar 16). Yang dibuat dari plat baja yang tipis dikembangkan untuk mendapat bukaan yang berbentuk wajik (diamond shape). Tidak sekuat kawat persegi ataupun segienam. Salah satu kelemahannya adalah timbulnya kecenderungan untuk lepas dari mortar akibat efek “gunting” dari bentuk wajik tersebut.

5.2. Rangka Tulangan Baja

Rangka tulangan baja selain sebagai penulangan, juga berfungsi sebagai rangka untuk memperoleh bentuk yang diinginkan dan tempat pemasangan tulang kawat jala. Jarak penulangan selebar mungkin tanpa melewati jarak bukaan 0,3 m dimana rangka ini tidak berfungsi sebagai tulangan struktur, hanya sebagai pembentuk konstruksi. Sedangkan rangka baja dengan jarak bukaan lebih kecil dari 10 kali ketebalan struktur dapat dianggap sebagai tulangan struktur. Untuk struktur yang bertegangan tinggi, seperti kapal jarak penulangan antara 0,05 sampai 0,075 m.

Umumnya yang digunakan untuk penulangan rangka, baik untuk tulangan memanjang maupun melintang adalah besi beton biasa. Untuk kebutuhan tertentu dapat juga digunakan besi berkekuatan tinggi atau besi beton pratekan. Ukuran tulangan rangka bervariasi antara 0,0042 m sampai 0,0095 m dalam garis tengah dan yang lebih umum digunakan adalah garis tengah 0,00625 m, namun demikian tidak menutup kemungkinan menggunakan diameter yang lebih kecil bersamaan.

6. Bahan Alternatif untuk Ferosemen

Penelitian tentang bahan pengganti dasar fero semen sudah banyak dilakukan di berbagai negara termasuk di Indonesia. Indonesia memiliki banyak bahan dasar alami banyak tersedia dan juga dapat digunakan untuk pembuatan struktur fero semen. Pada struktur fero semen yang sudah dibangun, bahan-bahan dasarnya dapat dikelompokkan menjadi beberapa macam.

Berdasarkan susunan kimianya, bahan dasar fero semen dikelompokkan menjadi 2 macam, yaitu:

- a. Bahan organik : Bambu dan rotan (untuk tulangan pembentuk atau untuk tulangan jala), sabut kelapa dan ijuk (untuk pengikat mortar)
- b. Bahan anorganik : Baja (high – medium – low strength), kawat anyaman, kawat las, kawat jala (segi enam, segi empat, wajik), dan semen.

Berdasarkan susunannya dalam konstruksi fero semen, bahan dasar tersebut dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

- a. Tulangan inti : baja, bambu, rotan
- b. Tulangan pelapis : kawat anyaman, kawat las, kawat jala, sabut kelapa, rotan dan ijuk.
- c. Bahan pengisi : mortar semen dan trass semen

Berdasarkan uraian di atas, jelas bahwa penggunaan bahan pengganti bahan dasar fero semen pada saat ini hanya pada tulangan inti dan tulangan pelapis sedangkan bahan pengisi atau pelapis tulangan tetap masih menggunakan bahan dasar semen. Penggantian bahan dasar tersebut dapat diterapkan pada beberapa macam jenis

konstruksi/struktur, yaitu: lantai, dinding, atap, dan pelapis bangunan. Ketebalan dari masing-masing jenis struktur tersebut sekitar 0,03 m, kecuali untuk lantai grid modul atau bentangan yang relatif tidak terlalu lebar.

Penggunaan bahan pengganti ini sudah diterapkan di Jawa Barat untuk jembatan pejalan kaki, bak penampungan air, rumah *hyperbolic paraboloid* dan di Lampung Barat untuk gedung sekolah. Dengan menggunakan bahan alami lainnya maka biaya konstruksi ferosemen bisa lebih hemat hingga 50% dibandingkan dengan konstruksi ferosemen yang menggunakan bahan standar (baja dan kawat lapis).

H. Bambu Semen

Pada prinsipnya bambu semen sama dengan ferosemen namun yang membedakannya pada tulangan pembentuknya yaitu berupa bambu yang dipotong menyerupai tulangan besi dan juga kawat jalanya yang terbuat dari sabut kelapa dan ijuk untuk pengikat mortarnya sedangkan bahan pengisi atau pelapis tulangan tetap masih menggunakan bahan dasar semen.



Gambar. 2.6 Tulangan Bambu

I. Komposit

Perkembangan teknologi material telah melahirkan suatu material jenis baru yang dibangun secara bertumpuk dari beberapa lapisan. Material ini lah yang disebut material komposit. Material komposit terdiri dari lebih dari satu tipe material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya. Pada dasarnya, komposit dapat didefinisikan sebagai campuran makroskopik dari serat dan matriks. Serat merupakan material yang (umumnya) jauh lebih kuat dari matriks dan berfungsi memberikan kekuatan tarik. Sedangkan matriks berfungsi untuk melindungi serat dari efek lingkungan dan kerusakan akibat benturan.

Komposit didefinisikan sebagai gabungan serat-serat dan resin. Penggabungannya sangat beragam, fiber atau serat ada yang diatur memanjang (unidirectional composites), ada yang dipotong-potong kemudian dicampur secara acak (random fibers), ada yang dianyam silang lalu dicelupkan dalam resin (cross-ply laminae), danlainnya.

Bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro sehingga bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsurnya yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material pada dasarnya tidak dapat dipisahkan. Komposit dibentuk dari dua komponen penyusun yang berbeda yaitu penguat (*reinforcement*) yang mempunyai sifat sulit dibentuk tetapi lebih kaku

serta lebih kuat dan matrik yang umumnya mudah dibentuk tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah.

Menurut bentuk material penyusunnya, komposit dapat dibedakan menjadi lima jenis, yaitu :

1. Komposi serat (Fibrous composite)
2. Komposi laminat (Laminate composite)
3. Komposi sketal (Filled)
4. Komposi serpih (Flake)
5. Komposi partikel (Particulate composite)

(<http://de-kill.blogspot.com/2008/03/sekilas-tentang-komposit.html>).

Lembaran komposit disebut sebagai lamina, Serat yang dipakai seperti di industri pesawat terbang biasanya terbuat dari karbon dan gelas, sedangkan resinnya adalah epoxy, sejenis polimer. Tebal lamina untuk komposit serat karbon adalah 0.125 mm. Komposit karbon/epoxy ini dibuat dari pre-impregnation ply atau pre-preg.

Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (modulus Young/density) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam. Beberapa lamina komposit dapat ditumpuk dengan arah orientasi serat yang berbeda, gabungan lamina ini disebut sebagai laminat.

Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

1. Penguat (reinforcement), yang mempunyai sifat kurang ductile tetapi lebih rigid serta lebih kuat, dalam penelitian kali ini penguat komposit yang digunakan yaitu dari serat glass.
2. Matriks, umumnya lebih ductile tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.

Secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakannya, yaitu :

1. Fibrous Composites (Komposit Serat) Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat / fiber. Fiber yang digunakan bisa berupa glass fibers, carbon fibers, aramid fibers (poly aramide), dan sebagainya. Fiber ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.
2. Laminated Composites (Komposit Laminat) Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.
3. Particulate Composites (Komposit Partikel) Merupakan komposit yang menggunakan partikel/serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.

(<http://de-kill.blogspot.com/2008/03/sekilas-tentang-komposit.html>).

Ferosemen termasuk jenis komposit laminat (Laminated Composites) karena terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.

J. Modus Perpindahan Panas

Menurut hukum termodinamika II, perpindahan panas akan terjadi dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Perpindahan panas ini dapat terjadi dalam tiga cara yaitu[3] :

1. Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas yang terjadi melalui media padat. Lambatnya perpindahan panas secara konduksi tergantung dari jenis materialnya walaupun dimensinya sama, karena ada bahan yang mudah memindahkan panas dan ada juga yang sulit memindahkan panas. Benda padat umumnya merupakan konduktor yang lebih baik dari benda cair dan benda cair lebih baik dibandingkan gas atau uap. Kebanyakan logam seperti perak, tembaga, baja dan besi sebagai konduktor yang baik sebaliknya kaca, wol, kayu disebut sebagai isolator. Tembaga dan aluminium biasanya logam jenis ini dipakai untuk kondensor, evaporator, dan pipa-pipa penghubung untuk sistem refrigerasi (pendinginan), walaupun kadang-kadang dijumpai logam besi.

Jumlah perpindahan panas melalui konduksi untuk berbagai jenis bahan tergantung dari :

- a. Tebal bahan
- b. Luas penampang

- c. Perbedaan temperatur diantara kedua sisi benda
- d. Faktor k (konduktifitas termal) bahan
- e. Lamanya perpindahan panas terjadi

Persamaan umum untuk proses perpindahan panas secara konduksi adalah:

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

dimana : A = luas penampang (m^2)

k = konduktifitas termal ($W/m.K$)

ΔT = beda suhu (K)

Δx = ketebalan (m)

2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada permukaan benda padat dengan fluida yang bergerak didekatnya.

Persamaan perpindahan panas secara konveksi adalah :

$$q = h_c A (t_s - t_f)$$

dimana : h_c = koefisien konveksi ($W/m^2.K$)

t_s = suhu permukaan, $^0 K$

t_f = suhu fluida, $^0 K$

3. Radiasi

Radiasi panas secara radiasi merupakan perpindahan panas yang terjadi dengan jalan pelompatan foton dari suatu permukaan kepermukaan lainnya. Radiasi dapat memindahkan energi di ruang vakum dan tidak bergantung pada medium

perantara untuk menghubungkan dua permukaan, misalnya cahaya matahari sampai ke bumi melalui gelombang sinarnya tanpa melalui perantara udara atau medium perantara lainnya.

Energi yang diradiasikan dari suatu permukaan ditentukan dalam bentuk daya pancar, secara termodinamika dapat dibuktikan bahwa daya pancar itu sebanding dengan pangkat empat absolutnya. Untuk radiator ideal biasanya berupa benda hitam, daya pancar (E_b , W/m^2) adalah :

$$E_b = ST^4$$

dimana : S = tetapan stefan-Boltzman = $5,669 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$

T = suhu absolut, K

(Incropera, Frank P, Dkk.2002).