

## 2. LANDASAN TEORI

Sistem pracetak telah banyak digunakan dalam proyek – proyek konstruksi. Sejak pertama kali muncul digunakan, sistem pracetak ini terus dikembangkan hingga saat ini. Dari yang awalnya di dominasi oleh beton, material utamanya beton, kini muncul suatu inovasi lain yaitu penggunaan *polystyrene* sebagai salah satu material penyusun pracetak. *Polystyrene* menjadi pilihan karena kelebihan yang dimilikinya seperti ringan, kedap suara, insulasi panas dan tahan lama.

*Polystyrene* sebagai salah satu material bangunan mulai dipakai di banyak gedung dan fasilitasnya penting lainnya di Amerika Utara. Selain itu, *polystyrene* telah dikembangkan sebagai material alternatif untuk perumahan di Jepang, setara dengan kayu, besi dan beton. Pada tahun 2004, sebuah perusahaan Jepang, Japan Dome House mengeluarkan produk bahan bangunan dengan bahan dasar utama *polystyrene* pertama yang diakui di Jepang sebagai material struktural yang terbuat dari bahan *polystyrene*. Dalam pengaplikasiannya, material ini digunakan untuk membangun sebuah rumah yang didesain tahan gempa dan tahan api. Di dalam uji coba terhadap rumah yang dibangun, diperoleh bahwa rumah tersebut tahan terhadap salju dan terpaan angin (“Styrofoam, Antisipasi Bangunan dari Angin Ribut dan Gempa Bumi”, 2009).

Di Hawaii, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang beton instan untuk pembangunan rumah, telah menggunakan suatu metoda yang disebut dengan sistem bangunan komposit secara berlapis yang tidak lain menggunakan material *polystyrene* dan beton. Sebagai proyek percontohan mereka membangun di Miliani, Hawaii. Rumah dengan sistem berlapis ini dapat bertahan terhadap terpaan angin ribut serta goncangan gempa bumi yang hebat. Di samping itu, bangunan ini juga tahan rayap, tahan karat dan memiliki klasifikasi A untuk ketahanannya terhadap bahaya kebakaran (“Styrofoam, Antisipasi Bangunan dari Angin Ribut dan Gempa Bumi”, 2009).

Di Indonesia, sistem pracetak yang menggunakan *polystyrene* sebagai salah satu material penyusunnya adalah M-System.

Pracetak M-System merupakan material dan metode konstruksi yang baru di Indonesia. Pracetak M-System ini menggunakan sistem *bearing wall*. Jadi strukturnya hanya terdiri dari dinding dan pelat lantai tanpa menggunakan balok dan kolom. Beban dari atap dan plat lantai ditahan oleh dinding dan diteruskan ke pondasi.

Pracetak M-System diadopsi di Indonesia dari sistem pracetak Emmedue, yang telah dikembangkan sejak dua puluh tahun silam di Italia, oleh PT. Duta Sarana Perkasa. Sistem ini merupakan solusi tepat untuk mengatasi kelangkaan bahan-bahan bangunan yang berasal dari alam dan memberikan solusi bahan bangunan yang berorientasi masa depan. Sistem ini mampu menggantikan penggunaan bahan-bahan baku tradisional seperti, batu, bata, beton dan sejenisnya, dengan suatu jenis material yang secara struktural lebih solid, ringan, tahan gempa, dan memiliki keunggulan dalam hal karakteristik peredam panas dan kedap suara.

Pada pracetak M-System, elemen pracetak struktural seperti dinding dan pelat yang umumnya terbuat dari beton, digantikan dengan panel-panel yang terbentuk dari material *polystyrene* dan *wire mesh* yang nantinya akan dilapis dengan plaster beton di lapangan. Penjelasan lebih lanjut mengenai komponen-komponen penyusun panel pracetak M-System dapat dilihat pada bab 2.1.

Nantinya kesatuan elemen-elemen pracetak M-System yang terdiri dari *polystyrene*, *wire mesh* dan plaster beton akan membentuk suatu kesatuan struktur yang berkekuatan setara dengan beton bertulang. Di sini, *polystyrene* berperan sebagai pengisi yang mampu mengurangi berat struktur bangunan dan memiliki banyak kelebihan dalam penggunaannya seperti tahan api, tahan peluru, insulator suara yang baik dan insulator thermal yang baik pula. Sedangkan *wire mesh* dan plaster beton akan menggantikan fungsi dari beton bertulang pada pracetak umumnya. Hal ini dapat terjadi karena mutu baja yang digunakan untuk *wire mesh* merupakan kawat baja mutu tinggi dan mutu plaster beton yang digunakan juga merupakan plaster beton mutu tinggi. Dengan pracetak M-System akan diperoleh suatu sistem struktural yang lebih kuat dan tahan lama namun lebih ringan.

Untuk mendesain suatu bangunan dengan pracetak M-System, sepenuhnya dilakukan oleh pihak fabrikator. Perencanaan dimulai dengan gambar perencanaan dari *owner*, yang nantinya akan diberikan kepada pihak fabrikator. Oleh pihak fabrikator, dari gambar perencanaan akan dihitung beban gempa dan beban-beban lainnya pada bangunan yang akan dibangun, menggunakan program yang bernama SISMICAD dan dari program yang digunakan akan diperoleh berapa tebal *polystyrene* yang dibutuhkan untuk panel dinding dan panel lantai. Setelah itu, digunakan program yang bernama M-CAD untuk menggambar rumah dan pecah model. Nantinya akan diperoleh jumlah panel yang dibutuhkan dan letaknya serta dapat diketahui berapa jumlah konektor yang dibutuhkan. Setelah didesain, baru kemudian panel-panel ini difabrikasi di pabrik.

Umumnya pada sistem pracetak, elemen-elemen struktural seperti kolom, balok, pelat dan tangga, tulangan-tulangannya dirangkai di pabrik dan dicor. Sedangkan pada pracetak M-System, yang dibuat di pabrik adalah panel-panel yang hanya terdiri dari *polystyrene* dan *wire mesh*, sedangkan pemberian plaster dan pengecoran beton dilakukan di lapangan.

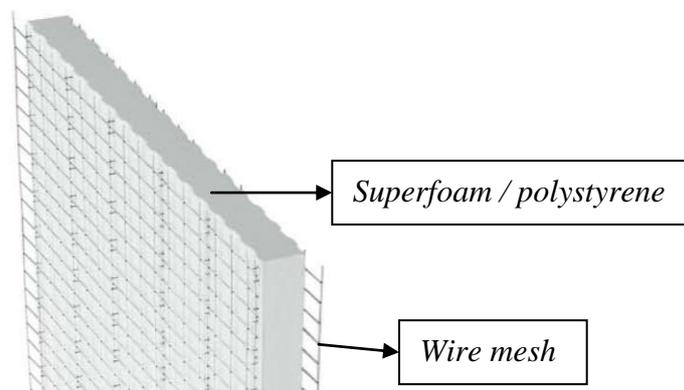
Teknologi pracetak M-System ini dapat digolongkan sebagai suatu pracetak karena terdapat pembuatan elemen-elemen dari pracetak ini yang dilakukan di pabrik, di antaranya adalah pembuatan *polystyrene*, perangkaian kawat besi menjadi kesatuan *wire mesh* dan pembuatan panel yang terdiri dari *polystyrene* dan *wire mesh* tersebut.

Pada pracetak pada umumnya, pekerjaan yang dilakukan di lapangan di antaranya adalah proses penyambungan elemen-elemen pracetak yang dilakukan dengan baut atau sambungan dengan las yang nantinya akan di-grouting. Untuk pelat pada sistem pracetak pada umumnya, sebagian besar masih membutuhkan pekerjaan pengecoran di lapangan, sebab hanya sebagian dari pelat yang dibuat di pabrik.

Untuk pracetak M-System tidak jauh berbeda dengan pracetak pada umumnya, Pracetak M-System ini masih membutuhkan pekerjaan di lapangan seperti pemberian *shotcrete*, pengecoran untuk panel lantai dan perangkaian sambungan dengan mesh tambahan.

## 2.1. Komponen – Komponen Pracetak M-System

Material utama pracetak M-System terbuat dari bahan *superfoam / polystyrene* dan diperkuat dengan *wiremesh*, sehingga mampu menghasilkan sifat struktural yang lebih kuat dan tahan lama namun lebih ringan. Material – material ini dibuat dan dipasang di pabrik menjadi satu bagian berupa panel – panel yang nantinya akan disusun/dipasang di lapangan menjadi suatu struktur bangunan yang utuh (lihat Gambar 2.1). Setelah dipasang di lapangan, panel – panel ini di plaster dan ada yang dicor beton (“M-Sstem, Membangun Sekali Untuk Selamanya”, 2009).



Gambar 2.1. Salah Satu Panel Pracetak M-System  
Sumber : PT. Lisa Concrete (2009)

### 2.1.1. *Polystyrene*

*Polystyrene* adalah bahan yang terbuat dari carbon, hidrogen dan 98% udara. *Polystyrene* ini tidak beracun, tidak berbahaya dan mengandung bahan kimia yang tidak aktif. Uap air dan kelembaban tidak menyebabkan kerusakan permanen pada material ini.

*Polystyrene* merupakan material yang 100% dapat di daur ulang. Untuk mengembangkan butiran-butiran *polystyrene* digunakan *CFC – Free Propellant* yang dikenal sebagai Pentana.

Pentana adalah cairan yang mudah menguap yang merupakan bahan alam yang dapat diperbarui, misalnya dari kotoran hewan atau selama penguraian sayuran oleh mikroorganisme. Karena tidak mengandung *chlorine*, pentana tidak merusak lapisan ozon. Sehubungan dengan pengurangan stabilitasnya, selama pembuatan *polystyrene* pentana cepat terkonversi menjadi karbon dioksida dan uap air di atmosfer sebagai reaksi *photochemical*.

*Polystyrene* pertama kali ditemukan pada tahun 1839 oleh Eduard Simon, seorang apoteker Jerman. Dia menyaring suatu zat yang berminyak, suatu *monomer* yang dinamakan *styrol*, dari resin alami yang berasal dari pohon *Turkish Sweetgum*. Beberapa hari kemudian, Simon menemukan *styrol* tersebut mengental menjadi *jelly*, sepertinya dari proses oksidasi, dia menyebutnya *Styroloxyd* (Wikipedia, 2009).

Pada tahun 1845, ahli kimia dari Inggris John Blyth dan ahli kimia dari Jerman August Wilhelm von Hofmann menunjukkan transformasi yang sama dari *styrol* tersebut terjadi tanpa adanya oksigen. Mereka menyebut zat ini *metastyrol*. Analisa selanjutnya menunjukkan bahwa reaksi kimia pada *metastyrol* ini identik dengan reaksi kimia pada *styroloxyd* (Wikipedia, 2009).

Pada tahun 1866, Marcelin Berthelot menunjukkan kebenaran bahwa pembentukan *metastyrol* dari *styrol* adalah proses polimerisasi. Kira – kira 80 tahun kemudian, seorang kimiawan organik Jerman lainnya, Hermann Staudinger (1881–1965), menyadari bahwa pemanasan dari *styrol* ini berawal dari reaksi rantai yang menghasilkan *macromolecules* yang kemudian dikenal dengan nama *polystyrene* (Wikipedia, 2009).

Kira – kira tahun 1931, perusahaan I. G. Farben mulai membuat *polystyrene* di Ludwigshafen, Jerman, dengan harapan *polystyrene* ini dapat menggantikan kelangkaan *zinc* dalam banyak aplikasinya. Kesuksesan tercapai ketika mereka menghasilkan tabung reaktor yang menekan *polystyrene* melalui tabung dan pemotong yang dipanaskan dan menghasilkan *polystyrene* dalam bentuk butiran. Pada tahun 1959, perusahaan Koppers di Pittsburgh, Pennsylvania, menghasilkan *Expanded Polystyrene* (EPS) foam (Wikipedia, 2009).

Ada 3 bentuk *polystyrene*, yaitu *Extruded Polystyrene*, *Expanded Polystyrene Foam*, dan *Extruded Polystyrene Foam*, masing – masing dengan berbagai aplikasi. *Polystyrene foam* merupakan insulator panas yang baik, oleh karena itu sering digunakan sebagai material insulator bangunan seperti panel insulator struktur bangunan. *Polystyrene foam* ini juga biasanya digunakan untuk beban struktur arsitektural yang tidak berat seperti ornamen tiang (Wikipedia, 2009).

1. *Extruded Polystyrene*

*Extruded Polystyrene* (PS) ini ekonomis dan digunakan untuk memproduksi kotak perakitan model plastik, alat – alat pemotong seperti pisau, gunting dan sebagainya dan alat – alat makan seperti sendok, garpu yang terbuat dari plastik, tempat CD, detektor asap untuk rumah, frame/bingkai pelat nomor, dan benda – benda plastik lainnya yang diinginkan (Wikipedia, 2009).

2. *Expanded Polystyrene Foam*

*Expanded Polystyrene Foam* (EPS) biasanya berwarna putih dan terbuat dari butiran *polystyrene* yang dikembangkan. Penggunaannya yang sudah sering kita ketahui yaitu pelindung benda – benda yang mudah pecah yang ada di dalam kardus. EPS ini biasanya dikemas seperti rigid panel, biasanya dikenal sebagai “bead-board”. Ketahanannya terhadap panas biasanya sekitar 28 m.K/W. Beberapa papan EPS dapat digunakan tanpa penghalang api (tahan api). Dalam perkembangannya di bidang konstruksi EPS digunakan sebagai penyekat beton (Wikipedia, 2009).

3. *Extruded Polystyrene Foam*

*Extruded Polystyrene Foam* (XPS) memiliki rongga – rongga udara yang membuatnya lentur, berat jenisnya rendah, dan daya konduksinya terhadap panas rendah. Biasanya digunakan untuk model bangunan dan maket arsitek. Foam diantara dua lembar kertas dapat digunakan sebagai pengganti kertas karton. Ketahanannya terhadap panas umumnya sekitar 35 m.Kelvin/W. Di pasaran XPS dikenal dengan *styrofoam* dan *foamcore* (Wikipedia, 2009).

*Polystyrene* yang digunakan pada pracetak M-System yaitu *Expanded Polystyrene Foam*. Berat jenis yang digunakan bervariasi tergantung penggunaannya.

2.1.2. *Wire mesh*

*Wire mesh* adalah besi fabrikasi bertegangan leleh tinggi yang terdiri dari dua lapis kawat baja yang saling bersilang tegak lurus. Setiap titik persilangan

dilas secara otomatis menjadi satu, menghasilkan penampang yang homogen, tanpa kehilangan kekuatan dan luas penampang yang konsisten (Jakarta Stock Exchange, 2007).

*Wire mesh* dapat digunakan untuk berbagai keperluan, baik untuk keperluan struktur maupun non struktur. Untuk keperluan struktur *wire mesh* biasanya digunakan pada (Jakarta Stock Exchange, 2007) :

- Plat di atas tanah
- Plat lantai gedung
- *Concrete Retaining Wall*
- *Concrete Drain*
- Kolom praktis
- Pondasi

Sedangkan untuk keperluan non struktur *wire mesh* biasanya digunakan untuk (Jakarta Stock Exchange, 2007) :

- *Wire Mesh Partition*
- *Wire Mesh Fencing*
- *Fishing Net*
- *Spare Parts Container*
- *Animal cage*
- *Roofing mesh*
- *Supermarket trolley*

*Wire mesh* yang digunakan pada pracetak M-System yaitu *Galvanized Steel Wire*. Diameter yang digunakan antara 2,5 – 3,5 mm dengan *Tensile strength* > 680 N/mm<sup>2</sup> dan *galvanising (zinc coating)* = 60 gram/m<sup>2</sup>.

### 2.1.3. Plaster dan Beton

Plaster yang digunakan adalah *special blend* dengan mutu K300 dan tebal minimum 2 cm. Plaster diaplikasikan dengan cara di semprot (*shotcrete*) menggunakan alat semprot khusus dengan tekanan 3 bar. Selain itu, plaster dapat juga diaplikasikan dengan cara manual seperti plasteran pada umumnya.

Ada beberapa panel yang membutuhkan perkuatan beton bertulang (*cast in situ*) sehingga dibutuhkan tulangan tambahan yang dipasang di lapangan dan kemudian dicor beton. Cara pengaplikasiannya sama seperti cara konvensional.

*Shotcrete* adalah suatu proses di mana beton diproyeksikan atau disemprot di bawah tekanan dengan menggunakan suatu alat bantu atau alat semprot ke suatu permukaan untuk membentuk bentuk struktural seperti dinding, lantai dan atap. Permukaan yang disemprot dapat berupa kayu, baja, *polystyrene*, atau permukaan lain dimana beton dapat diproyeksikan pada permukaannya (Portland Cement Association, n.d.).

Keuntungan dari *shotcrete* yaitu memiliki kekuatan dan daya tahan yang besar, *permeability*-nya rendah, ikatannya sempurna dan dapat diaplikasikan pada bentuk apapun. Keuntungan – keuntungan ini membuat *shotcrete* banyak digunakan sebagai material struktural (Portland Cement Association, n.d.).

Ada dua metode untuk mengaplikasikan *shotcrete*, yaitu *dry-mix* dan *wet-mix* (Seminar HAKI, 2007).

1. *Dry-Mix*

Campuran yang dimasukkan dalam mesin berupa campuran kering, dan akan tercampur dengan air di ujung selang. Sehingga mutu dari beton yang ditembakkan sangat tergantung pada keahlian tenaga yang memegang selang, yang mengatur jumlah air. Metode ini sangat mudah dalam perawatan mesin *shotcrete*-nya, karena tidak pernah terjadi ‘*blocking*’.

2. *Wet-Mix*

Campuran yang dimasukkan dalam mesin berupa campuran basah, sehingga mutu beton yang ditembakkan lebih seragam. Tapi metode ini memerlukan perawatan mesin yang tinggi, apalagi bila sampai terjadi ‘*blocking*’.

Pada campuran *shotcrete*, umumnya digunakan *additive* untuk mempercepat pengeringan (*accelerator*), dengan tujuan mempercepat pengerasan dan mengurangi terjadinya *rebound* atau banyaknya bahan yang terpantul dan jatuh (Seminar HAKI, 2007).

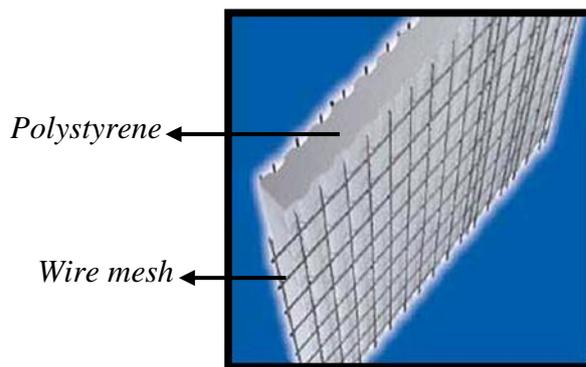
## 2.2. Jenis – Jenis Panel M-System

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, material – material utama pracetak M-System yaitu *polystyrene* dan *wire mesh* ini dibuat dan dipasang di pabrik menjadi satu bagian berupa panel – panel yang kemudian dipasang di lapangan. Dalam memasang panel – panel M-System ini dibutuhkan banyak konektor ( $\pm 82$  buah/m<sup>2</sup>) untuk memberi kekakuan pada panel. Adapun jenis – jenis panel tersebut adalah sebagai berikut.

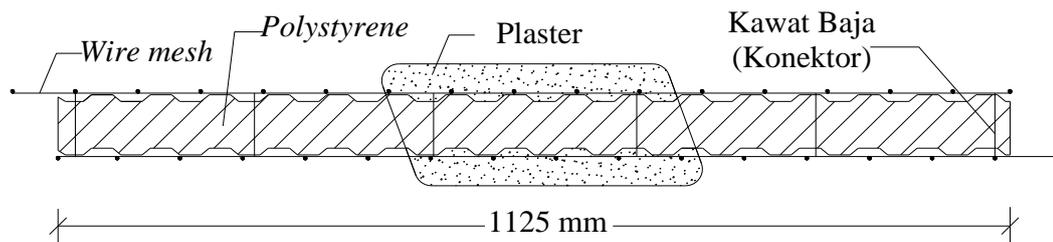
### 2.2.1. Single Panel

Panel ini berfungsi sebagai dinding, baik dinding struktural maupun partisi, juga dapat digunakan untuk lantai dan atap. Single panel ini dapat digunakan untuk konstruksi bangunan bertingkat sampai dengan empat lantai termasuk di daerah gempa.

Panel ini terdiri dari satu buah panel *polystyrene* dan dilapisi *wire mesh* pada kedua sisinya (lihat Gambar 2.2). Material – material ini disatukan dengan menggunakan kawat baja (konektor). Jarak antara *polystyrene* dan *wire mesh*  $\pm 10$  mm. Setelah dipasang di lapangan, panel ini di plaster setebal  $\pm 35$  mm pada kedua sisinya dengan cara di semprot / *shotcrete*. Ketebalan *polystyrene* dan diameter *wire mesh* bervariasi tergantung perencanaan (lihat Gambar 2.3).



Gambar 2.2. Single Panel M-System  
Sumber : PT. Lisa Concrete (2009)



Gambar 2.3. Detail Single Panel M-System

Gambar di atas menunjukkan detail dari Single Panel M-System. Panel – panel ini dibuat di pabrik dengan lebar standar 1125 mm, sedangkan panjangnya bervariasi. Berikut ini adalah spesifikasi standar dari Single Panel M-System (PT. Lisa Concrete, 2009).

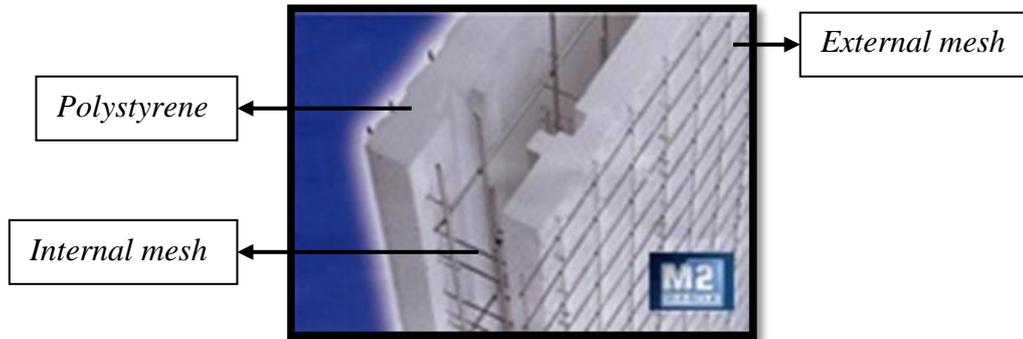
- *Polystyrene*  
 Berat Jenis *polystyrene* : 15 – 35 kg/m<sup>3</sup>  
 Ketebalan *polystyrene* : 40 – 320 mm
- *Galvanized steel wire*  
*Longitudinal steel wires* : diameter 2,5 mm – 3,5 mm  
*Transverse steel wires* : diameter 2,5 mm  
*Steel connection wires* : diameter 3 mm ( $\pm 82$  buah tiap meter persegi)  
*Characteristic yield stress*  $f_{yk} > 600 \text{ N/mm}^2$   
*Characteristic breaking stress*  $f_{tk} > 680 \text{ N/mm}^2$
- *Finished thickness* : 110 – 390 mm

Panel dapat dibuat dengan ciri – ciri yang berbeda dari standar panel di atas (ketebalan dan berat jenis *polystyrene* serta bentuk dan diameter *wire mesh* dapat bervariasi).

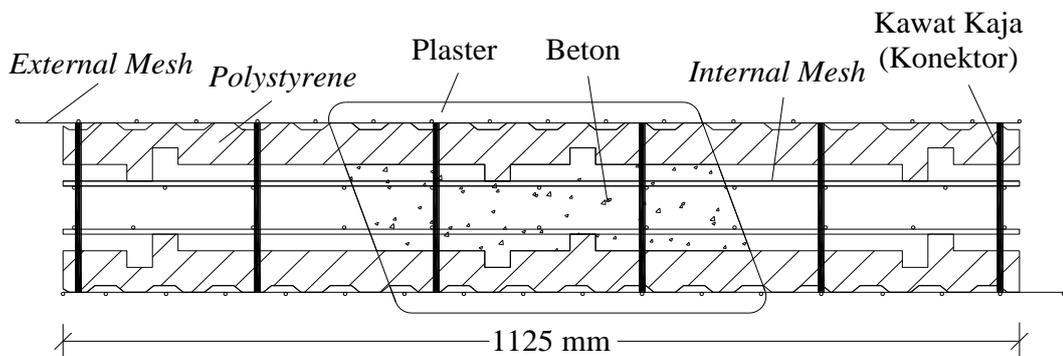
### 2.2.2. Double Panel

Panel ini terdiri dari dua buah *polystyrene* yang berhadapan satu sama lain yang memiliki jarak tertentu antara keduanya dan dihubungkan dengan kawat baja. Tempat kosong antara dua buah *polystyrene* diberi perkuatan beton bertulang. Tempat ini diberi internal mesh dan setelah dipasang di lapangan diisi beton. Pada sisi luar kedua *polystyrene*-nya juga dilapis *wire mesh* dengan diameter tertentu dan di plaster setebal 25 mm dengan cara disemprot (*shotcrete*), seperti yang dilakukan pada Single Panel. Tebal *polystyrene*-nya umumnya 50

mm, sedangkan jarak antar *polystyrene* dan diameter *wire mesh* bervariasi tergantung dari perencanaannya (lihat Gambar 2.4 dan Gambar 2.5).



Gambar 2.4. Double Panel M-System  
Sumber : PT. Lisa Concrete (2009)



Gambar 2.5. Detail Double Panel M-System

Panel ini digunakan sebagai dinding pada pracetak M-System dan berfungsi sebagai *bearing wall* sehingga dapat menyangga beban hingga 20 lantai. Berikut ini adalah spesifikasi standar dari Double Panel M-System (PT. Lisa Concrete, 2009).

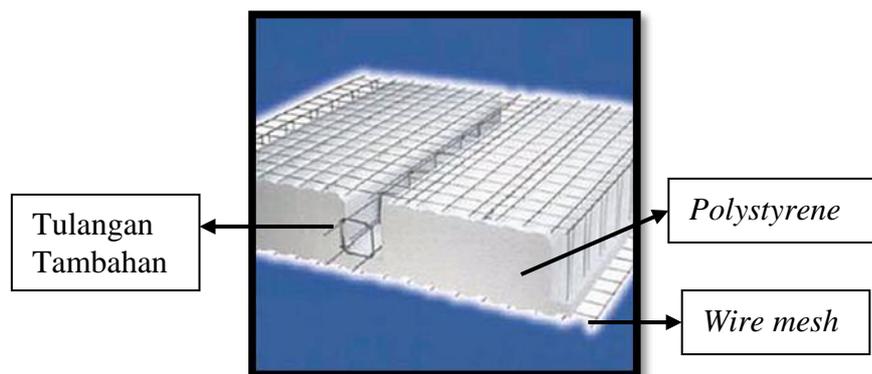
- *Polystyrene*  
 Berat Jenis *polystyrene* : 25 kg/m<sup>3</sup>  
 Ketebalan *polystyrene* : ± 50 mm
- *External mesh (Galvanized steel wire)* :  
*Longitudinal steel wires* : diameter 2,5 mm tiap jarak 65 mm  
*Transverse steel wires* : diameter 2,5 mm tiap jarak 65 mm  
*Steel connection wires* : diameter 3 mm (±82 buah tiap meter persegi)  
*Characteristic yield stress f<sub>yk</sub>* > 600 N/mm<sup>2</sup>  
*Characteristic breaking stress f<sub>tk</sub>* > 680 N/mm<sup>2</sup>

- *Internal mesh* :  
*Longitudinal steel wires* : diameter 5 mm tiap jarak 100 mm  
*Transverse steel wires* : diameter 5 mm tiap jarak 260 mm  
 (apabila dibutuhkan perkuatan maka jarak berkurang menjadi 130 mm dengan tambahan sambungan menggunakan klem)
- *Steel feature* : FeB44K
- Lubang dalam antara 2 *polystyrene* : 80 – 200 mm

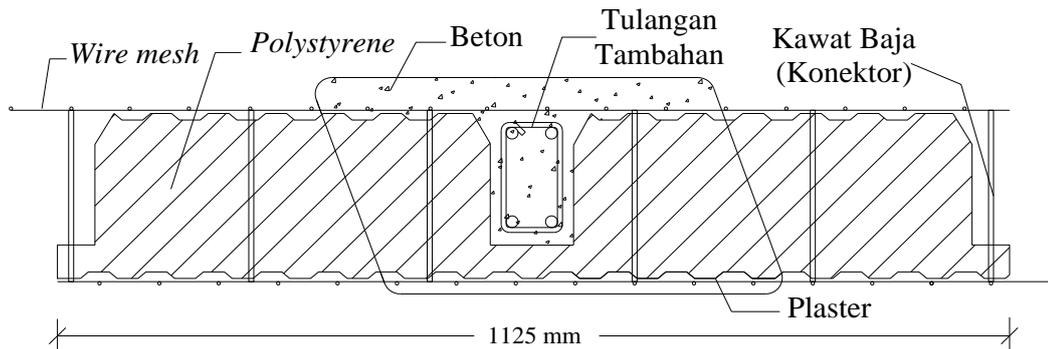
Panel dapat dibuat dengan ciri – ciri yang berbeda dari standar panel di atas (ketebalan dan berat jenis *polystyrene* serta bentuk dan diameter *wire mesh* dapat bervariasi).

### 2.2.3. Panel Lantai dan Panel Atap

Panel ini berfungsi sebagai plat lantai dan atap (dak beton) dengan bentang maksimumnya mencapai 10 meter. Panel ini terdiri dari *polystyrene* dan dilapisi *wiremesh* yang dihubungkan dengan kawat baja. Ketebalan dari *polystyrene* bervariasi yang tergantung dari lebar bentang ruangan yang akan di dek. Panel ini diberi perkuatan beton bertulang sehingga dibutuhkan tulangan tambahan yang difungsikan seperti penulangan balok yang dipasang di lapangan. Tulangan ini di letakkan pada lubang yang sudah di ada pada panel tersebut. Setelah terpasang di lapangan, pada bagian atas panel dicor dengan beton. Sedangkan pada bagian bawahnya di plaster dengan cara di semprot (lihat Gambar 2.6 dan Gambar 2.7).



Gambar 2.6. Panel Lantai atau Panel Atap M-System  
 Sumber : PT. Lisa Concrete (2009)



Gambar 2.7. Detail Panel Lantai atau Panel Atap M-System

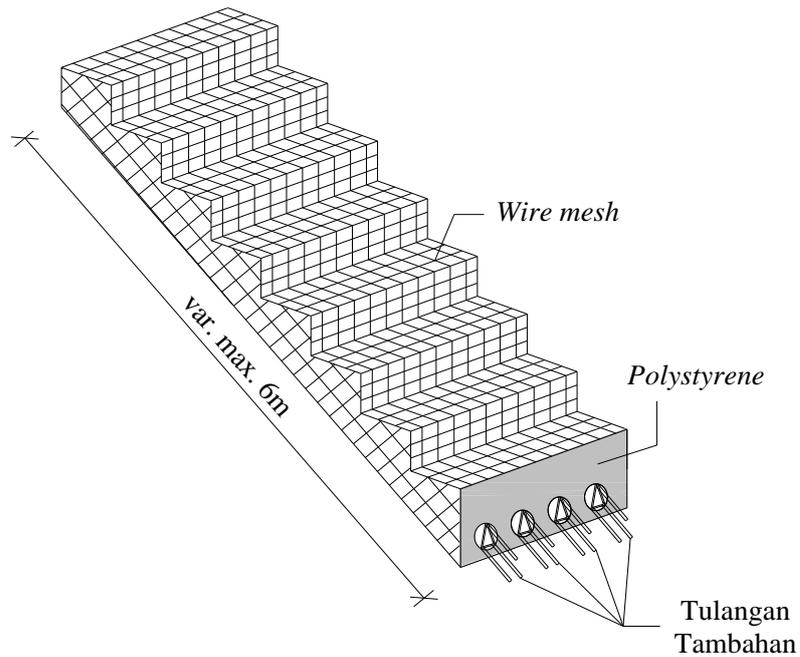
Berikut ini adalah spesifikasi standar dari Panel M-System yang dapat berfungsi sebagai panel lantai atau panel atap (PT. Lisa Concrete, 2009).

- *Polystyrene*  
Berat Jenis *polystyrene* :  $15 \text{ kg/m}^3$
- *Galvanized steel wires*  
*Longitudinal steel wires* : diameter 2,5 mm tiap jarak 65 mm  
*Transverse steel wires* : diameter 2,5 mm tiap jarak 65 mm  
*Steel connection wires* : diameter 3 mm ( $\pm 82$  buah tiap meter persegi)  
*Characteristic yield stress* :  $f_{yk} > 600 \text{ N/mm}^2$   
*Characteristic breaking stress* :  $f_{tk} > 680 \text{ N/mm}^2$

#### 2.2.4. Panel Tangga

Jenis panel untuk konstruksi tangga, desain disesuaikan dengan kebutuhan tinggi dan jumlah serta ukuran anak tangga dengan maximum bentang 6 m (tinggi lantai di atasnya kira – kira 3 m).

Panel tangga ini terdiri dari *polystyrene* yang terbungkus dengan dua lapis *wire mesh*, sangat mudah untuk dipasang karena ringan dan kuat dan tidak memerlukan bekisting seperti pada sistem konvensional. Panel ini juga diberi perkuatan beton bertulang sehingga dibutuhkan tulangan tambahan yang dipasang pada lubang yang sudah ada pada panel tersebut dan diisi beton di lapangan (lihat Gambar 2.8). Pada sisi luar panel di plaster dengan cara di semprot (*shotcrete*) atau dapat juga diplaster secara manual.



Gambar 2.8. Panel Tangga M-System

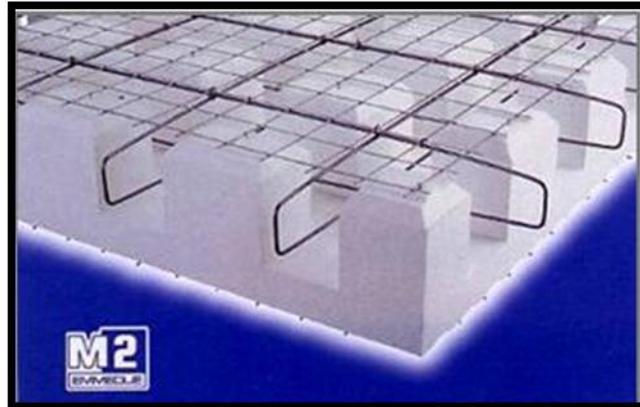
Berikut ini adalah spesifikasi dari Panel Tangga M-System (PT. Lisa Concrete, 2009)

- *Polystyrene*  
Berat Jenis *polystyrene* :  $15 \text{ kg/m}^3$
- *Galvanized steel wires*  
*Longitudinal steel wires* : diameter 2,5 mm  
*Transverse steel wires* : diameter 2,5 mm  
*Steel connection wires* : diameter 3 mm  
*Characteristic yield stress* :  $f_{yk} > 600 \text{ N/mm}^2$   
*Characteristic breaking stress* :  $f_{tk} > 680 \text{ N/mm}^2$
- *Fire resistance REI* : 120

#### 2.2.5. Landing Panel

Jenis panel bordes untuk konstruksi tangga, dicor bersama dengan anak tangga (*cast in situ*) menjadi satu kesatuan struktur. Panel ini terdiri dari *polystyrene* dan dilapisi *wire mesh* pada bagian atas dan bawahnya. Selain itu diberi tulangan 2 arah dan juga berfungsi sebagai penyangga tangga. *Polystyrene-*

nya di disain sedemikian rupa sehingga terdapat lubang – lubang sebagai tempat tulangan dan beton yang akan di cor seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. *Landing Panel M-System*  
Sumber : PT. Lisa Concrete (2009)

Pada bagian bawah panel diplaster dengan cara disemprot (*shocrete*) seperti halnya pada Panel Lantai.

### 2.3. Kelebihan – Kelebihan Pracetak M-System

- Mudah dikerjakan  
Panel M-System berbobot ringan ini memberikan banyak keuntungan pada saat pelaksanaan konstruksi, cukup diperlukan satu – dua orang pekerja untuk memindahkan dan memasangnya bahkan untuk ukuran panel diatas 4m<sup>2</sup>. Pemasangan dilakukan secara manual oleh cukup seorang pekerja tanpa penggunaan alat bantu angkat. Hal ini membuat pekerjaan instalasi menjadi lebih mudah dan cepat dalam situasi apapun tanpa memerlukan tenaga kerja khusus. Namun, tenaga kerja trampil akan meningkatkan produktivitas pelaksanaan menjadi lebih tinggi (M-System Indonesia, n.d.).
- Mudah dalam instalasi  
Panel – panel M-System dapat dipasang dengan tangan dan dapat dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan alat klip (penjepit) atau kawat ikat / konstruksi biasa (M-System Indonesia, n.d.).
- Mudah dalam pengecoran

Beton dapat dituang langsung tanpa membutuhkan bekisting untuk kasus panel ganda dan disemprot langsung (*shotcreting*) untuk kasus panel standar dan panel tangga (M-System Indonesia, n.d.).

- **Praktis dan simpel**

Fungsi ganda panel yang dapat digunakan baik untuk atap maupun lantai (M-System Indonesia, n.d).

- **Mudah dalam pembuatan coakan**

Coakan dapat dibentuk dengan mudah dengan cara melelehkan *super foam* pada lokasi yang diperlukan dengan menggunakan *hot-air gun* atau alat pemanas lainnya (M-System Indonesia, n.d).

- **Mudah dalam instalasi jaringan utilitas**

Instalasi berbagai sistem jaringan utilitas (pipa air, pemanas, listrik, telepon dan lain-lain) pada panel M-System adalah sangat mudah dan praktis, dapat dilakukan tanpa bantuan tenaga khusus sementara area kerja tetap terjaga kebersihannya. Diawali dengan penentuan jalur-jalur sistem jaringan pada dinding panel, lalu pembuatan coakan dengan melelehkan *super foam* dengan *hot-air gun* atau alat pemanas lain, selanjutnya jaringan utilitas siap untuk diposisikan pada coakan yang telah dibuat di belakang jaringan kawat baja sebelum *shotcrete* dilaksanakan. Berbagai jenis pipa (kaku atau lentur) untuk keperluan jaringan utilitas (listrik, telepon, air, gas dan lainnya) dapat dipasang dengan mudah didalam struktur panel M-System (M-System Indonesia, n.d.).

- **Strukturnya kuat**

Ketika selesai terpasang pada posisinya, maka panel siap untuk dicor pada bagian tengahnya (dalam kasus panel ganda). Kemudian, panel dapat dilapisi segera dengan beton (*shotcrete*) pada sisi luar dan dalamnya, yang mana merupakan salah satu keunggulan yang dimiliki M-System karena dapat menggunakan beton pelapis jenis apa saja. Beton pelapis yang diaplikasi dengan cara ini menghasilkan struktur komposit yang monolitik, terdiri dari beton yang diperkuat dengan tulangan baja (*mesh*). Struktur ini tahan terhadap beban mekanis maupun termal yang dapat

mengakibatkan retak-retak pada konstruksi beton (M-System Indonesia, n.d).

- Pekerjaan lebih sederhana, efisien, dan efektif

Panel tidak lagi memerlukan perapihan pada lokasi dimana jaringan utilitas ditempatkan; lain halnya pada pelaksanaan konstruksi konvensional dan pracetak lainnya, sehingga pekerjaan jauh lebih sederhana serta efisien dan efektif (M-System Indonesia, n.d.).

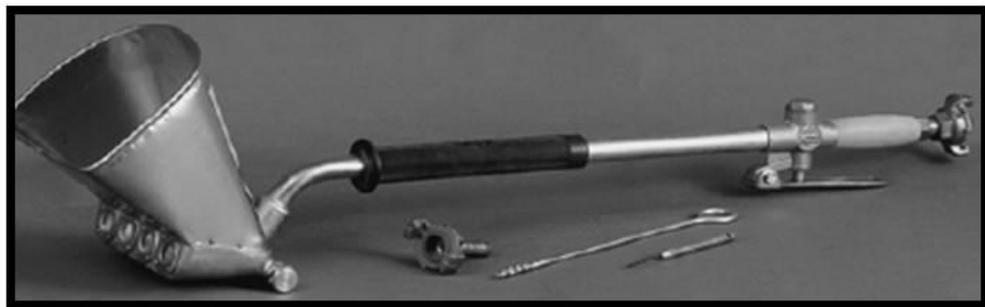
## 2.4. Peralatan yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan pada pelaksanaan pracetak M-System adalah sebagai berikut.

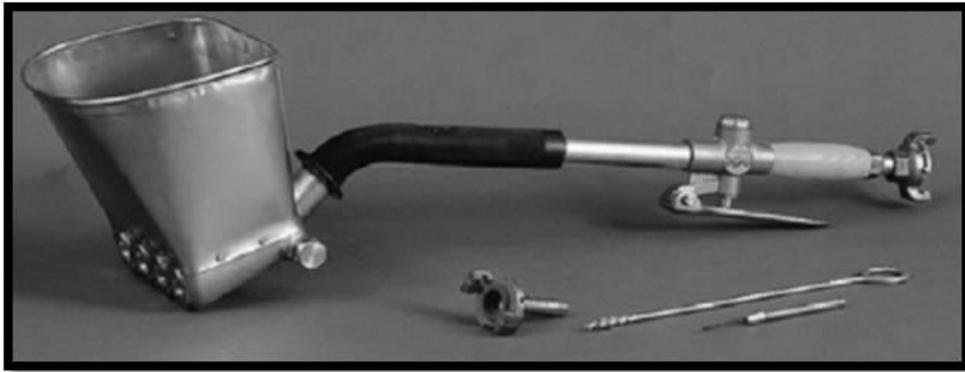
### 2.4.1. *Coating Machine*

*Coating machine* digunakan untuk menyemprot *shotcrete* pada panel – panel M-System. Penggunaan alat ini dapat menghemat waktu dan pelaksanaannya relatif mudah karena tidak membutuhkan tenaga khusus.

Jenis alat *coating machine* yang dapat digunakan adalah Turbosol, Putzmaister, Maltech atau jenis PFT. Umumnya jenis alat yang digunakan adalah Turbosol. Jenis kepala alat *coating* yang digunakan ada dua macam, yaitu untuk mengaplikasikan *shotcrete* pada langit-langit dan untuk mengaplikasikan *shotcrete* pada dinding (Lihat Gambar 2.10 dan Gambar 2.11).



Gambar 2.10. Alat Semprot untuk Langit-Langit  
Sumber : M2 Dominicana (n.d.)



Gambar 2.11. Alat Semprot untuk Dinding  
Sumber : M2 Dominicana (n.d.)

Beberapa ketentuan dalam pengaplikasian *shotcrete*.

- Untuk *shotcrete* yang diaplikasikan di dinding, jarak maksimum kepala alat dengan dinding adalah 5 - 10 cm.
- Sedangkan untuk *shotcrete* yang diaplikasikan pada langit-langit, jarak maksimum kepala alat dengan dinding adalah 2 - 3 cm.

#### 2.4.2. Hot-air Gun

Alat ini digunakan untuk membuat coakan pada panel dinding untuk pemasangan jaringan pemipaan, instalasi listrik, dan sistem lainnya. Umumnya jenis alat yang digunakan adalah *Thermo-Blower HLG 2000-LE* (Lihat Gambar 2.12).



Gambar 2.12. Alat *Thermo – Blower HLG 2000-LE*  
Sumber : M2 Dominicana (n.d.)

### 2.4.3. Stapler

Jenis *stapler* yang umumnya digunakan adalah Pro Clinch TM 4.5 (Lihat Gambar 2.13.). Alat ini digunakan untuk memasang kawat besi yang mengikat antara stek dan *wire mesh*.



Gambar 2.13. Alat *Stapler* Pro Clinch TM 4.5  
Sumber : M2 Dominicana (n.d.)

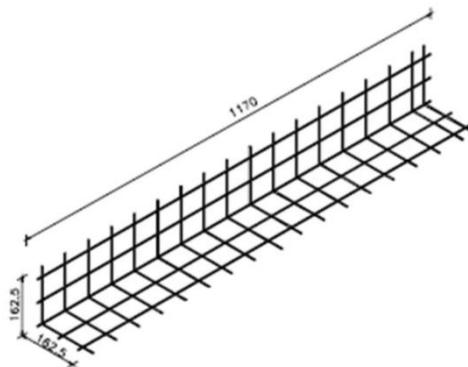
### 2.5. Sambungan

Untuk menyambung antar panel M-System yang satu dengan yang lain digunakan *mesh* tambahan. *Mesh* tambahan yang digunakan terbuat dari kawat besi tergalvanisasi dengan diameter 2,5 cm.

Adapun jenis-jenis *mesh* tambahan yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Tipe RG 1

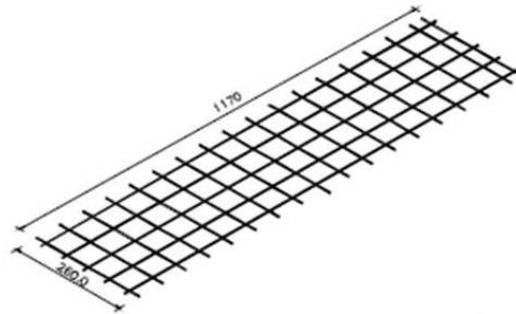
*Mesh* ini digunakan untuk memperkuat sudut-sudut, pertemuan antara panel-panel. Contoh *mesh* tambahan tipe RG 1 sebagai berikut.



Gambar 2.14. *Mesh* Tipe RG 1  
Sumber : PT. Lisa Concrete (2009)

- Tipe RG 2

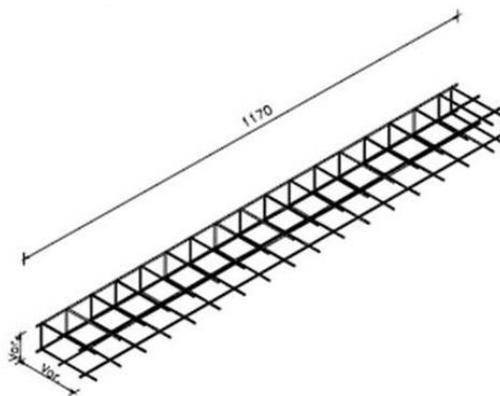
*Mesh* ini selain digunakan untuk memperkuat ujung bukaan seperti jendela dan pintu, juga digunakan untuk memperkuat sambungan antara panel-panel yang bersebelahan. Contoh *mesh* tambahan tipe RG 2 sebagai berikut.



Gambar 2.15. *Mesh* Tipe RG 2  
Sumber : PT. Lisa Concrete (2009)

- Tipe RGU (*U-Shaped Mesh*)

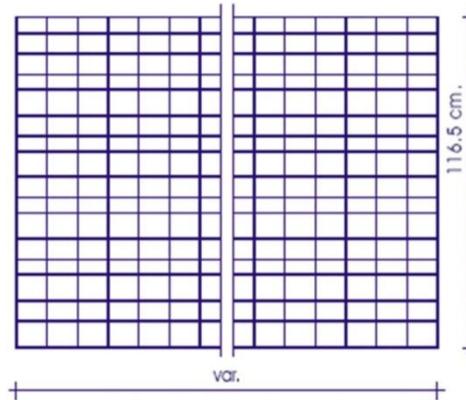
Seperti diketahui bahwa pada panel ganda M-System, EPS dan *mesh* dipotong sesuai kebutuhan bukaan untuk jendela dan pintu. Untuk mengembalikan kesinambungan pada panel, berkaitan dengan tepi-tepi pada jendela dan pintu, maka bagian dalam tepi bukaan tersebut diberi *mesh* tipe ini. Contoh *mesh* tambahan tipe RGU sebagai berikut.



Gambar 2.16. *U-Shaped Mesh*  
Sumber : PT. Lisa Concrete (2009)

- *Bracing Mesh-work*

*Mesh* ini digunakan untuk mengembalikan bentuk panel yang bengkok. Contoh *mesh* tambahan tipe *Bracing Mesh-work* sebagai berikut.



Gambar 2.13. *Bracing Mesh-work*  
 Sumber : PT. Lisa Concrete (2009)

## 2.6. Pelaksanaan Single Panel M-System

Secara garis besar, langkah-langkah pelaksanaan rumah tinggal dengan Single Panel M-System adalah sebagai berikut (PT. Lisa Concrete, 2009).

- I. Di pondasi bangunan pada sloof-nya diberi stek besi yang fungsinya adalah sebagai tempat berdirinya panel untuk dinding.
- II. Setelah menentukan posisi stek, panel-panel dinding M-System dipasang dengan cara mendirikan panel-panel tersebut pada stek yang sudah tersedia.
- III. Untuk menjaga agar panel-panel yang telah terpasang agar tidak roboh dan menjadi miring maka panel-panel yang telah terpasang diberi penyangga pada bagian luar dan dalam panel.
- IV. Selanjutnya pada panel-panel yang menempel pada besi stek, cukup dikaitkan dengan menggunakan besi kawat. Setelah merata pemasangan kawat besi, masing-masing kawat besi dan *wire mesh* yang mengikat antara stek dan *wire mesh* pada setiap panel M-System dikencangkan secukupnya. Langkah ini berguna agar panel-panel tidak bergeser satu sama lain.
- V. Untuk pembuatan pintu atau jendela pada panel M-System sangat mudah pembuatannya. Cukup dengan memotong *wire mesh* pada panel, lalu memotong bagian superfoam yang telah dikehendaki. Untuk menguatkan bagian sudut yang telah dipotong maka setiap sudut jendela harus diberi mesh tambahan pada bagian luar dan dalam jendela.

- VI. Setelah panel-panel dinding M-System terpasang secara lengkap, maka pada setiap sudut panel harus diberi mesh tambahan pada bagian luar dan dalam untuk memperkuat panel yang satu dengan panel yang lain hingga menjadi kesatuan panel.
- VII. Untuk pembuatan dak lantai, yang kita butuhkan adalah panel lantai. Sama seperti panel dinding, panel lantai ini setelah dirangkai, pada setiap sudut antara panel dinding dan panel lantai harus diberi mesh tambahan pada bagian dalam dan luarnya. Setelah dak lantai selesai dipasang, maka dilanjutkan dengan pengecoran dak lantai.
- VIII. Selanjutnya adalah pemasangan panel atap. Tidak berbeda dengan yang lain, panel atap dipasang sesuai kebutuhan dan harus diberi mesh tambahan pada sudut-sudut pada bagian dalam dan luar panel.
- IX. Salah satu kelebihan pada panel M-System, adalah mudahnya dalam pemasangan jaringan utilitas. Pembuatan coakan cukup dengan *hot air gun* atau pemanas lainnya yang diawali dengan menentukan jalur sesuai kebutuhan. Berbagai jenis pipa kaku atau lentur untuk keperluan jaringan utilitas, dapat dilakukan tanpa bantuan tenaga khusus. Sementara area kerja tetap terjaga bersih.
- X. Tahap berikutnya adalah pemasangan plaster pengecoran pelapis dinding. Panel M-System dapat langsung dilapis dengan beton pada kedua sisi setelah selesai terpasang pada posisinya. Beton pelapis yang diaplikasi pada panel akan menghasilkan struktur komposit yang monolitis, yang terdiri dari beton dengan perkuatan tulangan baja.
- XI. Pemasangan plaster pada panel atap, tidak jauh berbeda pada panel-panel lainnya. Panel atap diberi plaster, lalu diberi pelapis anti bocor agar memudahkan pemasangan genteng sesuai keinginan.