

BAB 3

LANDASAN TEORI

3.1 Dinding

SNI 03-3430-1994 menyebutkan bahwa dinding terdiri dari dua macam, yaitu dinding pasangan (non struktural) dan dinding struktur. Dinding pasangan adalah dinding yang terbuat dari susunan blok-beton ataupun bata merah yang diikat satu dengan yang lainnya dengan adukan atau mortar, sehingga membentuk bidang dinding, sedangkan dinding struktur adalah dinding yang direncanakan, diperhitungkan dan digunakan untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral.

Hidayah (2017) menyebutkan fungsi dinding secara umum sebagai berikut:

1. sebagai pemikul beban di atasnya,
2. sebagai pembatas ruang/partisi, agar mempunyai sifat: privasi, indah dan bagus dalam skala, warna, tekstur, dapat dibuat transparan, sebagai peredam terhadap bunyi baik dari dalam maupun dari luar, dan
3. perlindungan terhadap gangguan luar seperti sinar matahari, isolasi terhadap suhu, air hujan dan kelembaban, hembusan angin, serta gangguan dari luar lainnya.

3.2 Pengertian Panel Dinding

Tjokrodimuljo (1996) mendefinisikan panel dinding sebagai berikut ini.

Panel dinding merupakan komponen non-struktural pada bangunan konstruksi. Panel dinding dibuat dari bahan semen, pasir, dan agregat kasar, dengan menggunakan cara perencanaan campuran di laboratorium.

Panel dinding adalah salah satu produk perkembangan teknologi di bidang bahan bangunan (Beton pra-cetak). Beton pra-cetak adalah beton yang dibuat di cetakan dengan ukuran yang sudah ditentukan atau disesuaikan dengan aplikasi kerja sehingga bisa menghemat biaya dan efisien waktu. Panel dinding juga memiliki fungsi yang sama dengan dinding konvensional. Komposisi panel dinding sama dengan beton konvensional yaitu air, semen, agregat halus, agregat

kasar dan diperkuat dengan tulangan, namun pada saat ini mulai berkembang panel dinding yang tidak menggunakan agregat kasar dalam komposisinya.

Panel dinding beton ringan adalah inovasi terbaru yang saat ini sedang marak di masyarakat. Keuntungan yang sangat terlihat menggunakan jenis panel dinding ini adalah berat yang relatif ringan dan dalam tahap pemasangannya yang sangat mudah dan cepat. Pemasangan dinding panel ini cukup dilakukan 3-5 orang. Dengan demikian diharapkan dalam membangun rumah tidak perlu membutuhkan SDM yang sangat banyak.

3.3 Komponen Penyusun Panel Dinding

3.3.1 Beton Busa (*Foam Concrete*)

Menurut SNI 03-2847-20013, beton diartikan sebagai campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air serta dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*) yang membentuk massa padat. Penggunaan beton sebagai bahan bangunan sering dijumpai pada proyek gedung maupun proyek konstruksi lainnya. Beton merupakan bahan yang mudah diproduksi dan memiliki kuat tekan yang baik.

Berdasar berat satuan, SNI 03-2847-2013 membedakan beton menjadi 3 jenis, yaitu:

1. beton ringan, yaitu beton yang memiliki berat satuan $\leq 1900 \text{ kg/m}^3$,
2. beton normal, yaitu beton dengan berat satuan 2200 kg/m^3 - 2500 kg/m^3 , dan
3. beton berat, yaitu beton dengan berat satuan $> 2500 \text{ kg/m}^3$.

Menurut Tjokrodimuljo (1996), cara mendapatkan beton ringan adalah sebagai berikut ini.

1. Beton agregat ringan, yaitu beton yang memiliki agregat kasar dan agregat halus ringan.
2. Beton busa, yaitu beton ringan yang dicampur dengan bahan pengembang atau dengan menambahkan udara pada adukan beton.
3. Beton tanpa agregat halus (non pasir), yaitu beton ringan yang tidak mengandung agregat halus.

Beton busa (*foam concrete*) adalah material yang memiliki banyak kelebihan. Kelebihan utamanya adalah memiliki berat volume yang rendah dan memiliki sifat insulasi yang sangat baik. Oleh karena itu, beton busa telah banyak digunakan terutama sebagai bahan pengisi. Beton busa (*foam concrete*) adalah beton ringan yang dibuat dari semen, pasir atau *fly ash*, air dan busa (*foam*). Rata-rata densitas beton busa kering adalah berkisar antara 300 kg/m^3 – 1600 kg/m^3 pada umur 28 hari dengan kekuatan berkisar antara $0,2$ – 10 N/mm^2 atau lebih (Azuan, 2014).

Secara umum Pielert (2006) dalam Azuan (2014) menyebutkan bahwa beton busa dengan densitas di bawah 600 kg/m^3 terbuat dari semen, *foam* dan air, dengan kemungkinan penambahan abu terbang (*fly ash*). Sementara untuk beton busa dengan densitas yang lebih tinggi dibuat dengan menambahkan pasir. Pada densitas yang lebih tinggi ($>1500 \text{ kg/m}^3$) terdapat penambahan bahan pengisi yang lebih tinggi dan agregat halus (pasir) dapat digunakan sebagai bahan pengisi tersebut.

Dalam pembuatan beton busa, kualitas material harus diperhatikan dan harus sesuai dengan peraturan-peraturan yang berlaku di Indonesia. Penelitian ini menggunakan beton busa sebagai salah satu material utama panel dinding. Adapun material penyusun beton busa adalah sebagai berikut ini.

1. Semen Portland

Semen merupakan bahan penyusun beton yang berfungsi sebagai perekat yang secara kimiawi akan aktif setelah berhubungan dengan air. Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton maupun mortar. Semua semen Portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013-81 atau standar uji bahan bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat berisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun semen hanya mengisi $\pm 10\%$ dari volume beton, namun sebagai bahan yang aktif maka perlu dikontrol secara ilmiah.

2. Agregat Halus

Agregat halus merupakan batuan halus yang terdiri dari butiran berdiameter 0,14–0,55 mm yang didapatkan dari hasil penghancuran batuan alam atau dapat juga memecahnya, tergantung dari kondisi pembentukannya. Pasir dalam campuran beton sangat menentukan kemudahan pengerjaan, kekuatan, dan tingkat keawetan dari beton yang dihasilkan. Oleh karena itu agregat halus harus benar-benar memenuhi persyaratan yang berlaku.

Menurut SNI 03-6821-2002, disebutkan mengenai persyaratan agregat halus yang baik adalah sebagai berikut ini.

- a. Agregat halus terdiri dari butiran yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan kurang dari 2,2.
- b. Sifat kekal apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
 - 1) jika dipakai natrium sulfat, maka bagian hancur maksimal 12%, dan
 - 2) jika dipakai magnesium sulfat, maka bagian hancur maksimal 10%.
- c. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%, apabila pasir mengandung lumpur lebih dari 5%, maka pasir harus dicuci.
- d. Pasir tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrans-harder dengan larutan NaOH 3%.
- e. Susunan besar butir pasir mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 sampai 3,8 dan terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam.
- f. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.
- g. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemerintahan bahan bangunan yang duakui.
- h. Agregat halus yang digunakan untuk plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan pasir pasangan.

Dilihat dari syarat batas gradasinya, agregat halus dibagi menjadi 4 zona seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Syarat batas gradasi

Lubang ayakan (mm)	Berat tembus kumulatif (%)							
	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4	
	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas
10	100	100	100	100	100	100	100	100
4,8	90	100	90	100	90	100	95	100
2,4	60	95	75	100	85	100	95	100
1,2	30	70	55	100	75	100	90	100
0,6	15	34	35	59	60	79	80	100
0,3	5	20	8	30	12	40	15	50
0,15	0	10	0	10	0	10	0	15

Sumber : SK SNI T-15-1990-03 (1990)

Keterangan :

zona 1 = pasir kasar,

zona 2 = pasir agak kasar,

zona 3 = pasir halus, dan

zona 4 = pasir agak halus.

Untuk memperoleh hasil beton yang seragam, mutu agregat halus harus benar-benar dikendalikan. Oleh karena itu sangat diperlukan pengujian karakteristik agregat halus. Pengujian agregat halus dimaksudkan agar dapat memperoleh agregat halus yang baik. Agregat halus yang baik dapat menghasilkan kualitas mutu yang baik.

Tujuan pengujian agregat halus adalah agar agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini dapat memenuhi persyaratan. Untuk memenuhi persyaratan dan untuk mencapai spesifikasi yang ditentukan, maka terdapat beberapa pengujian yang dilakukan. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut ini.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Menurut SNI 03-1970-1990, berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan. Nilai-nilainya adalah tanpa dimensi.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan data-data untuk menghitung berat jenis curah, berat jenis kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat halus. Hasil-hasil pengujian tersebut selanjutnya akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan agregat tersebut telah memenuhi spesifikasi atau tidak.

Menurut SNI 03-1970-1990, berat jenis curah kering adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat (termasuk rongga yang impermeabel dan permeabel di dalam butir partikel, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel) pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu. Perhitungan berat jenis curah kering (S_d) dapat menggunakan rumus (3.1) berikut ini.

$$B_{j_{\text{curah}}} = \frac{B_k}{(B+B_u-B_t)} \quad (3.1)$$

dengan:

$B_{j_{\text{curah}}}$ = berat jenis curah

B_k = berat benda uji kering oven (gram),

B = berat piknometer yang berisi air (gram),

B_t = berat piknometer berisi air dan benda uji (gram), dan

B_u = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

Berat jenis jenuh kering permukaan adalah perbandingan antara berat satuan volume agregat (termasuk berat air yang terdapat di dalam rongga akibat perendaman selama (24 ± 4) jam, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel) pada suatu temperatur tertentu terhadap berat udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu. Perhitungan berat jenis jenuh kering permukaan dapat menggunakan rumus (3.2) berikut ini.

$$B_{j_{\text{SSD}}} = \frac{B_u}{(B+B_u-B_t)} \quad (3.2)$$

dengan:

B_{jSSD} = berat jenis kering permukaan,

B_k = berat benda uji kering oven (gram),

B = berat piknometer yang berisi air (gram),

B_t = berat piknometer berisi air dan benda uji (gram), dan

B_u = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat dari satuan volume suatu bagian agregat yang impermeabel pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu. Perhitungan berat jenis semu dapat dilakukan menggunakan rumus (3.3) berikut ini.

$$B_{jSemu} = \frac{B_k}{(B+B_k-B_t)} \quad (3.3)$$

dengan:

B_{jSemu} = berat jenis semu,

B_k = berat benda uji kering oven (gram),

B = berat piknometer yang berisi air (gram), dan

B_t = berat piknometer berisi air dan benda uji (gram).

Penambahan berat dari suatu agregat akibat air yang meresap ke dalam pori-pori, tetapi belum termasuk air yang tertahan pada permukaan luar partikel, dinyatakan sebagai persentase dari berat keringnya. Perhitungan penyerapan air dapat dilakukan menggunakan rumus (3.4) berikut ini.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B_u - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3.4)$$

dengan:

penyerapan air = kadar penyerapan air (%)

B_k = berat benda uji kering oven (gram), dan

B_u = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

b. Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus

Pemeriksaan berat volume dari agregat halus dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat agregat halus dengan volume agregat halus, baik dalam keadaan gembur dan dalam keadaan dipadatkan. Perhitungan berat volume agregat halus menggunakan persamaan sesuai SNI 03-4804-1998. Persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan (3.5) berikut ini.

$$B_v = \frac{B_k}{V} \quad (3.5)$$

dengan:

B_v = berat volume benda uji (gram/cm³),

B_k = berat benda uji kering oven (gram), dan

V = volume benda uji (cm³).

c. Pemeriksaan Kadar Lumpur dalam Agregat

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui persentase kadar lumpur dalam agregat. Kadar lumpur dalam agregat mempengaruhi kualitas agregat yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan terdapat persyaratan agregat yang diijinkan dalam suatu agregat, yaitu tidak melebihi 5% agar menghasilkan kualitas material yang baik. Sesuai dengan SNI 03-4142-1996 perhitungan kadar lumpur dalam agregat menggunakan rumus (3.6) berikut ini.

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3.6)$$

dengan:

W_1 = berat kering oven benda uji awal (gram), dan

W_2 = berat kering oven benda uji sesudah pencucian (gram).

d. Pemeriksaan Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (MHB) adalah indeks yang digunakan untuk mengukur tingkat kehalusan dan kekasaran butiran-butiran agregat. MHB diperoleh dari jumlah persen kumulatif dari butiran agregat yang tertinggal di suatu ayakan dibagi seratus. Makin besar nilai MHB makin besar pula butir agregatnya. Pada umumnya nilai MHB pasir adalah 1,5–3,8 (Tjokrodimuljo, 1996).

3. *Foam Agent*

Foam agent merupakan suatu bahan tambah yang digunakan sebagai pembentuk beton busa dengan mencampurkannya pada adukan mortar. *Foam agent* akan bereaksi dengan air menjadi suatu *foam* pekat yang tidak dapat mudah hancur dengan bantuan *foam generator* sebagai alat pembentuk. *Foam agent* ini dapat membuat beton menjadi lebih ringan dengan berat isi di bawah 1800 kg/m^3 .

Menurut CV. Citra Additive mandiri sebagai perusahaan yang memproduksi *foam agent*, dijelaskan bahwa “1 liter ADT *foam agent* dapat dicampurkan dengan air bersih 40-80 liter. Sementara untuk mempercepat pengeringan dan pengerasan secara sempurna, maka dapat ditambahkan ADT sebesar 2-3%.”

4. Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang membuat reaksi dengan semen portland. Air yang mengandung banyak minyak, asam, alkali, garam-garam, atau bahan organik sebaiknya jangan dipakai untuk pencampur beton. Hal tersebut dapat mengurangi kekuatan beton itu sendiri. Dalam pemakaian air untuk beton, Tjokrodimuljo (1996) menyebutkan sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut ini.

- a. Tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam lebih dari 15 gram.
- c. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Kandungan zat-zat tersebut apabila terlalu banyak dapat berpengaruh jelek terhadap beton. Beberapa pengaruh buruknya kualitas air adalah sebagai berikut ini.

- a. Mempengaruhi proses reaksi kimia pada semen.
- b. Mempengaruhi lekatan antara pasta semen dan butiran batuan.
- c. Mengurangi kekuatan atau keawetan beton.
- d. Dapat juga membuat beton mengembang, sehingga terjadi retak-retak.

Secara umum air yang dapat dipakai untuk bahan pencampur beton ialah air yang bila dipakai dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling.

3.3.2 Mortar

SNI 03-6825-2002 menyebutkan bahwa mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu. Mortar berfungsi untuk menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun konstruksi. Kekuatan mortar bergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halusnya. Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil. Mortar harus memiliki ketahanan terhadap penyerapan air dan harus memiliki kekuatan geser yang dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar/cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan adhesinya.

3.3.3 Wire Mesh

Firas (2015) menyatakan bahwa “*wire mesh* adalah logam baja karbon rendah yang bentuknya seperti kawat dan dianyam menjadi lembaran. Bentuk anyaman tersebut adalah persegi dan jajar genjang.”

SNI 07-0663-1995 menyebutkan bahwa “jaring kawat baja las untuk tulangan adalah jaringan yang berbentuk segi empat dari kawat hasil penarikan dingin yang dibuat dengan pengelasan titik, dimana dapat berbentuk bujur sangkar dan jaring empat peregi panjang.” Kawat-kawat satu sama lain harus saling tegak lurus dan tidak boleh terdapat cacat-cacat yang dapat mengurangi kegunaannya.

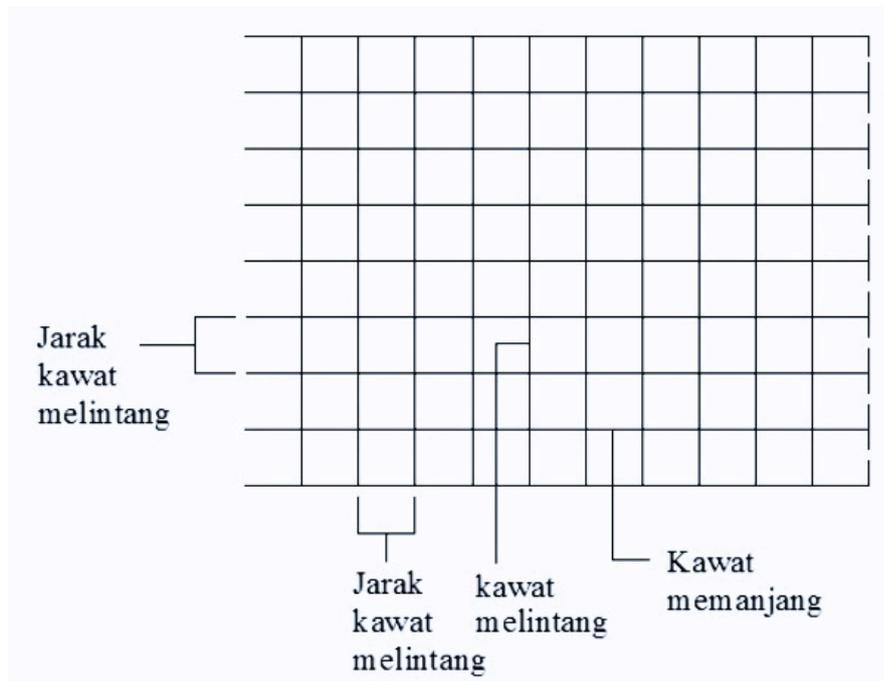
Spesifikasi jaring kawat baja las untuk tulangan beton adalah seperti Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Spesifikasi jaring kawat baja las untuk tulangan beton

Standar mutu	SNI 07-0663-1995 Jaring kawat baja las untuk tulangan beton					
Ukuran						
a. Diameter kawat (mm)	5	6	7	8	9	10
b. Panjang (m) / lebar (m) / roll	5,4/54					
c. Lebar (m)	2,1					
d. Ukuran jaring (mm)	150 × 150					
e. Panjang juntalan	Maksimum 100					
f. Penyimpangan kesikuan (%)	Maksimum 1%					
g. Jarak sirip (mm)	4,6 sampai dengan 7,2					
h. Tinggi sirip (mm)	Minimal 0,27					
i. Berat kawat baja (kg/m)	24,14	34,76	47,31	61,79	78,20	96,54
Sifat mekanis						
a. Batas ulur (kgf/mm ²)	Minimum 50 dan maksimum 55					
b. Kuat tarik (kgf/mm ²)	Minimum 50 dan maksimum 55					
c. Kontraksi (%)	Kuat tarik < 70 minimum 30, kuat tarik >70 minimum 25					
d. Kuat geser las (kgf/mm ²)	Polos: minimum 20 Bersirip: maksimum 25					
e. Lengkung (180°)	Baik/tidak retak pada sisi luar lengkungan					

Sumber : intanmetalindo.com (2017)

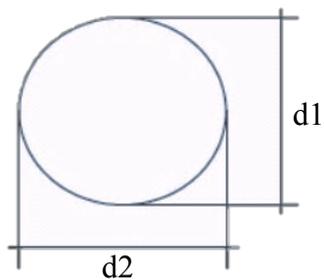
Panjang juntaian kawat adalah maksimum $\frac{1}{2} \times$ jarak kawat melintang, sesuai Gambar 3.1. Menurut SNI 07-0663-1995, untuk pengujian jaringan kawat baja (Gambar 3.1) yaitu jaring kawat baja las yang berjumlah sampai dengan 10 bundel dilakukan dengan mengambil satu benda uji sebanyak 2 (dua) lembar yang berukuran 1 × 1 meter setiap kelipatan 10 bundel diambil 1 (satu) contoh uji. Sementara untuk jaring kawat baja las yang berjumlah sampai dengan 50 bundel dilakukan dengan mengambil satu benda uji sebanyak 2 (dua) lembar yang berukuran 1 × 1 meter setiap kelipatan 50 bundel diambil 1 (satu) contoh uji.



Gambar 3.1 Jaring kawat baja las

(Sumber : SNI 07-0663-1995)

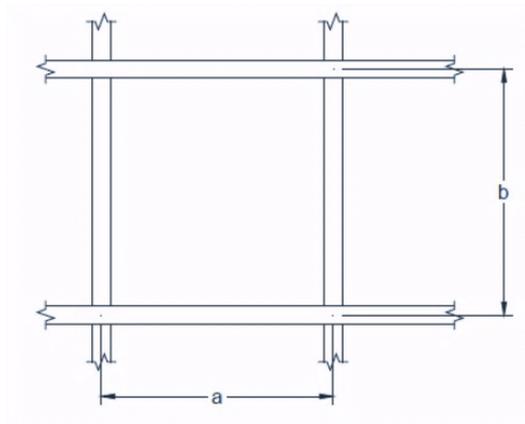
Pengukuran diameter jaring kawat baja las dilakukan terhadap kawat baja yang melintang dan kawat baja memanjang. Masing-masing pada dua titik pengukuran dilakukan 2 langkah pengukuran seperti Gambar 3.2, kemudian dihitung nilai rata-ratanya.



Gambar 3.2 Pengukuran diameter kawat

(Sumber : SNI 07-0663-1995)

Pengukuran jaring kawat dilakukan dengan cara mengukur secara acak lebar maupun panjang jaring minimum 3 kali pengukuran. Pengukuran dapat dilakukan seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pengukuran panjang dan lebar jaring kawat

(Sumber : SNI 07-0663-1995)

Uji kesikuan jaring kawat baja las dilakukan dengan mengukur perbedaan diagonal jaring kawat baja las seperti Gambar 3.4. Selanjutnya dilakukan perhitungan penyimpangan kesikuan dengan persamaan (3.7) berikut ini.

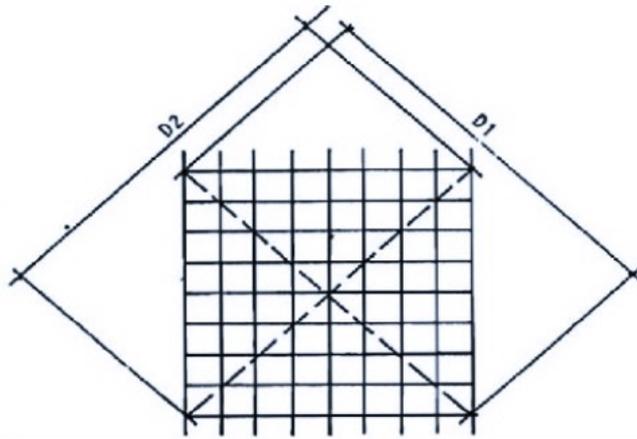
$$PPK = \frac{D1 - D2}{D2} \times 100\% \quad (3.7)$$

dengan :

PPK = persentase penyimpangan kesikuan (%)

D1 = diagonal terpanjang (cm), dan

D2 = diagonal terpendek (cm).



Gambar 3.4 Kesikuan jaring kawat
(Sumber : SNI 07-0663-1995)

Menurut SNI 07-0954-2005, “syarat mutu tulangan baja adalah tidak boleh mengandung serpihan, lipatan, retakan, gelombang, dan hanya diperkenankan berkarat ringan pada permukaan. Karat yang dimaksud adalah apabila digosok secara manual tidak meninggalkan cacat permukaan.”

Untuk keperluan penulangan digunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis menguntungkan, dan baja tulangan yang digunakan dapat berupa batang baja lonjoran ataupun jaring kawat (*wire mesh*) yang berupa batang kawat baja yang dirangkai dengan teknik pengelasan.

3.4 Kuat Tekan Mortar dan Beton Busa

Kuat tekan mortar dan beton busa ditentukan melalui uji tekan dengan benda uji berbentuk silinder. Pengujian beton busa dan mortar dimaksudkan untuk menentukan komposisi material mortar dan beton busa yang memiliki kuat tekan maksimum. Komposisi material mortar dan beton busa yang menghasilkan kuat tekan maksimum selanjutnya digunakan sebagai komposisi material pengisi panel dinding.

Kuat tekan adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji beton busa dan mortar. Nilai kuat tekan beton busa dan mortar diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder ataupun kubus

pada umur 28 hari yang dibebani dengan gaya tekan sampai mencapai beban maksimum. Beban maksimum didapatkan dari pengujian dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Menurut SNI 03-6825-2002, besarnya kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan (3.8) berikut ini.

$$f'_s = \frac{P}{A} \quad (3.8)$$

dengan:

f'_s = kuat tekan silinder (MPa),

P = beban maksimum (N), dan

A = luas permukaan yang dibebani (mm²).

Kuat tekan beton karakteristik merupakan kuat tekan beton yang diperoleh dari hasil pemeriksaan sejumlah benda uji. Kemungkinan adanya kuat tekan yang diperoleh berada di bawah kuat tekan beton karakteristik terbatas sampai 5% saja. Dengan adanya kemungkinan mendapatkan kuat tekan di bawah kuat tekan beton karakteristik ini, maka menghasilkan penyesuaian “k” sebesar 1.64, sehingga kuat tekan beton karakteristik dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (3.9) berikut ini.

$$f'_{bk} = f'_{bm} - 1.64 S \quad (3.9)$$

dengan:

f'_{bk} = kuat tekan benda uji karakteristik (kg/cm²),

f'_{bm} = kuat tekan benda uji rata-rata (kg/cm²),

1.64 = koefisien penyesuaian “k”, dan

S = standar deviasi (kg/cm²).

Standar deviasi sering disebut dengan simpangan baku atau yang biasanya dilambangkan dengan huruf S. Standar deviasi merupakan suatu ukuran yang

menggambarkan tingkat penyebaran data dari nilai rata-rata. Standar deviasi dinyatakan dalam persamaan (3.10) berikut ini.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f'b - f'bm)^2}{(n-1)}} \quad (3.10)$$

dengan:

S = standar deviasi (kg/cm^2),

$f'b$ = kuat tekan masing-masing benda uji (kg/cm^2),

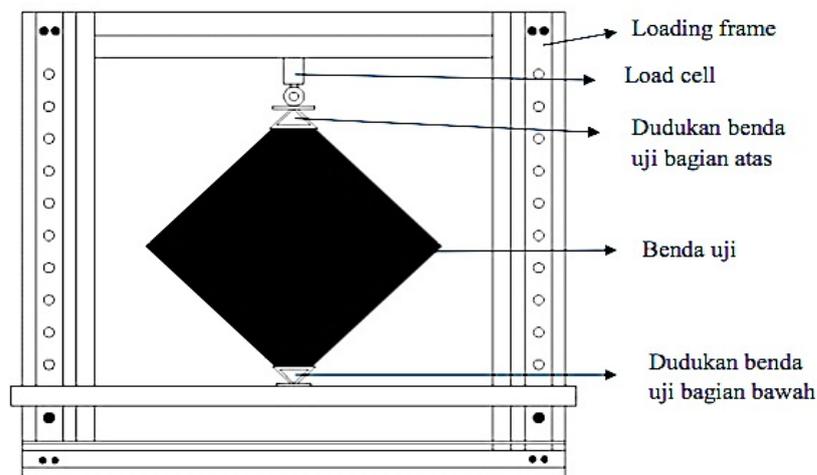
$f'bm$ = kuat tekan benda uji rata-rata (kg/cm^2),

n = jumlah data (buah), jumlah benda uji minimum adalah 20 buah.

3.5 Karakteristik Panel Dinding

3.5.1 Kuat Geser

Pengujian geser panel dinding adalah meliputi penentuan kuat tarik diagonal atau geser sepanjang sumbu diagonal dalam posisi vertikal, sehingga menyebabkan keruntuhan tarik diagonal yang sejajar terhadap pembebanan. Pada bagian bawah dan atas benda uji diberikan dudukan yang terbuat dari baja. Uji geser dinding panel dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Pengujian geser panel dinding
(Sumber : ASTM E519-02, 2002)

Kegagalan atau kerusakan dinding salah satunya disebabkan oleh gaya lateral. Gaya lateral merupakan gaya pada bangunan yang bersifat horizontal dengan arah yang tidak menentu seperti angin dan gempa bumi. Menurut penelitian Wibowo (2012) mengenai *Seismic Performance of Insitu dan Precast Soft Storey Buildings* yang mana dalam pembahasan mengenai deformasi lateral (*lateral displacement*) menyebutkan bahwa deformasi lateral pada suatu struktur terdiri dari 3 komponen yaitu deformasi lentur (*flexural displacement*), *yield penetration*, dan deformasi geser (*shear displacement*).

Ada dua mekanisme kegagalan geser utama dari struktur beton bertulang, yaitu kegagalan karena kompresi geser dan kegagalan tarik diagonal. Kegagalan kompresi geser terjadi karena perilaku kelengkungan yang menyebabkan hancurnya beton sepanjang strut diagonal atau terjadi pemisahan diagonal. Sementara untuk kegagalan tarik diagonal, tegangan tarik dalam beton mengatur mekanisme kegagalan yang menyebabkan retak cenderung menjadi tidak stabil dan memperpanjang melalui zona kompresi. Kegagalan geser biasanya terjadi karena beban aksial yang sangat tinggi (di atas titik keseimbangan) atau pada rasio bentang geser yang relatif rendah yaitu < 2 .

Dari hasil pengujian, didapatkan beberapa parameter yang digunakan untuk menghitung kuat geser. Data yang diperoleh adalah dimensi tampang benda uji dan beban maksimum. Sesuai dengan ASTM E519-02, persamaan kuat geser diagonal adalah sebagai berikut ini.

$$f_{vd} = \frac{0,707 \times P}{A_n} \quad (3.11)$$

$$A_n = \frac{(l_w + h_w)}{2} \times t \times n \quad (3.12)$$

dengan:

f_{vd} = kuat geser (MPa),

- P = beban maksimum (N),
 l_w = lebar benda uji (mm),
 h_w = tinggi benda uji (mm),
 t = tebal benda uji (mm), dan
 n = persen daerah bruto yang padat, $n = 1$.

Sedangkan rumus perhitungan kuat geser diagonal panel dinding berdasarkan SNI 03-4166-1996 adalah sebagai berikut ini.

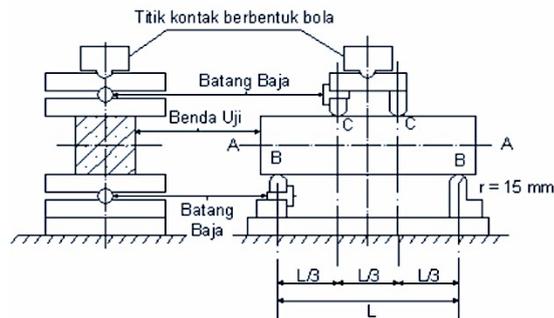
$$f_{vd} = \frac{0,707 P + M}{A_n} \times (1-\mu) \quad (3.13)$$

dengan:

- f_{vd} = kuat geser diagonal dinding (MPa),
 P = beban uji maksimum (N),
 A_n = luas penampang tekan (mm^2),
 M = berat alat bantu (N), dan
 μ = koefisien friksi sebesar 0,3.

3.5.2 Kuat Lentur Panel Dinding

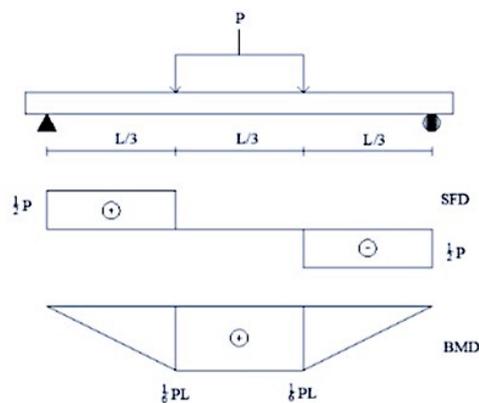
Pengujian kuat lentur panel dinding merupakan pengujian terhadap benda uji panel dinding untuk menahan beban yang diberikan pada dua titik perletakan dengan arah tegak lurus sumbu benda uji panel dinding. Beban yang diberikan dilakukan sampai benda uji mengalami keruntuhan. Protokol pengujian kuat lentur panel dinding dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Protokol pengujian kuat lentur
(Sumber : SNI 03-4431-2011, 2011)

Nawy (1990) mengatakan bahwa lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban dari luar. Apabila beban tersebut bertambah, maka akan terjadi deformasi dan regangan tambahan pada balok yang mengakibatkan retak lentur di sepanjang bentang balok dan akan mengakibatkan keruntuhan elemen struktur bila beban tersebut terus bertambah. Pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan lentur.

Terdapat dua tipe pembebanan yang dilakukan dalam pengujian kuat lentur, yaitu pembebanan satu titik dan dua titik. Pembebanan dua titik merupakan tipe pembebanan yang menggunakan 2 buah perletakan pembebanan dengan besaran tertentu pada tiap $1/3$ bentang bersih benda uji yang akan diuji. Pembebanan dua titik menyebabkan kuat lentur yang dihasilkan merupakan kuat lentur murni. Diagram pembebanan dua titik dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.

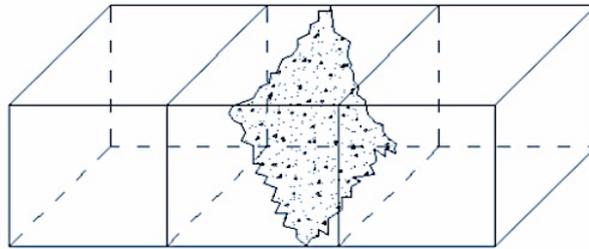


Gambar 3.7 Diagram pembebanan dua titik pada pengujian kuat lentur
(Sumber : SNI 03-4431-2011, 2011)

Menurut SNI 03-4431-2011, perhitungan pengujian kuat lentur dinding menggunakan persamaan 3.12 dan persamaan 3.13 berikut ini.

1. Bila patah benda uji akibat pengujian berada di daerah pusat 1/3 jarak tumpuan pada bagian tarik benda uji, maka perhitungan kuat lentur menggunakan persamaan 3.14.

$$f_{lt} = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (3.14)$$



Gambar 3.8 Patah di daerah pusat (1/3 jarak titik perletakan bagian tengah)
(Sumber : SNI 03-4431-2011, 2011)

2. Bila patah benda uji akibat pengujian berada di luar daerah pusat (di luar daerah pusat 1/3 jarak tumpuan) pada bagian tarik benda uji, dan jarak titik patah dengan titik pusat beban kurang dari 5% jarak dua garis perletakan, maka perhitungan kuat lentur menggunakan persamaan 3.15.

$$f_{lt} = \frac{P.a}{b.h^2} \quad (3.15)$$

degan :

f_{lt} = kuat lentur benda uji (MPa),

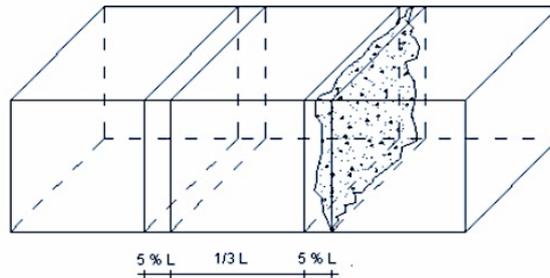
P = beban maksimum (N),

L = jarak (bentang) antar dua garis perletakan (mm),

b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm),

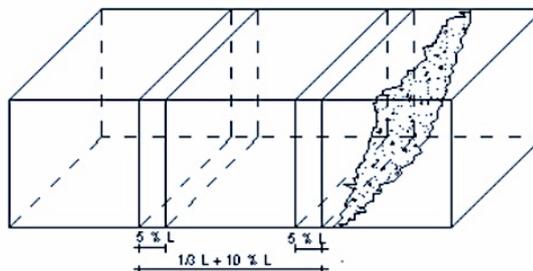
h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm), dan

- a = jarak rata-rata antar tampang lintang patah dengan tumpuan luar terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm).



Gambar 3.9 Patah di daerah luar 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah <5% jarak titik perletakan
(Sumber : SNI 03-4431-2011, 2011)

3. Untuk benda uji yang patah pada bagian di luar daerah pusat (di luar daerah pusat 1/3 jarak tumpuan) dan jarak titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang tumpuan, maka hasil pengujian tidak digunakan.



Gambar 3.10 Patah di daerah luar 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah >5% jarak titik perletakan
(Sumber : SNI 03-4431-2011, 2011)

3.5.3 Kuat Tekan Panel Dinding

Menurut SNI 03-4164-1996, “kuat tekan dinding adalah gaya tekan yang bekerja pada pasangan dinding per-satuan luas penampang dinding yang tertekan.” Nilai kuat tekan panel dinding dapat dihitung dengan persamaan 3.16 berikut ini.

$$f'k = \frac{P + M}{B \times t} \quad (3.16)$$

dengan:

$f'k$ = kuat tekan panel dinding (MPa),

P = beban uji maksimum (N),

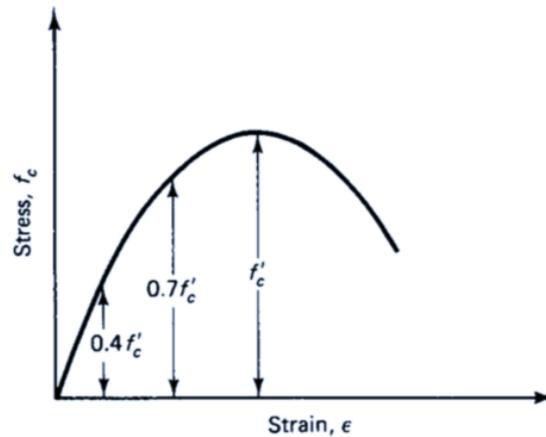
l_w = lebar benda uji (mm),

t = tebal benda uji (mm), dan

M = berat alat bantu (N).

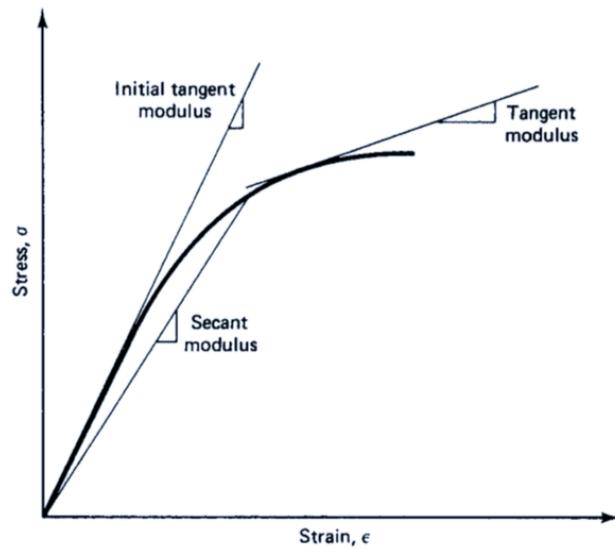
Modulus elastisitas atau modulus Young panel dinding adalah ukuran kekerasan (*stiffness*) dari panel dinding. Modulus elastisitas dalam aplikasi rekayasa didefinisikan sebagai perbandingan tegangan yang bekerja pada panel dinding dengan regangan yang dihasilkan. Menurut Nawy (1990), “hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan-persamaan analisis dan desain juga prosedur-prosedur pada struktur beton.”

Gambar 3.11 memperlihatkan kurva tegangan regangan tipikal yang diperoleh dari percobaan dengan menggunakan benda uji silinder beton dan dibebani dengan beban uniaxial selama beberapa menit. Bagian pertama kurva ini (sampai sekitar 40% dari $f'c$) pada umumnya untuk tujuan praktis dapat dianggap linier. Sesudah mendekati 70% tegangan hancur, material banyak kehilangan kekakuannya, sehingga menambah ketidak-linieran diagram. Pada beban batas, retak yang searah dengan arah beban menjadi sangat terlihat dan hampir semua beton silinder (kecuali yang kekuatannya sangat rendah).



Gambar 3.11 Kurva tegangan-regangan beton
(Sumber : Nawy, 1990)

Kurva tegangan regangan beton seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.11 adalah kurva linier pada taraf pembebanan awal, maka modulus elastisitas (*modulus young*) dari bahan ini adalah garis singgung dari kurva tegangan regangan dari titik pusatnya. Kemiringan garis singgung ini didefinisikan sebagai modulus tangen awal. Bila dibuat modulus tangen untuk tiap titik pusat dengan suatu harga tegangan (sekitar $0,4 f'_c$) disebut modulus elastisitas sekan dari beton, seperti terlihat pada Gambar 3.12. Harga ini pada perhitungan desain disebut modulus elastisitas. Modulus elastisitas ini memenuhi praktis bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dapat dianggap elastis (pada keadaan beban dihilangkan bersifat *reversible* penuh), dan regangan lainnya akibat beban dipandang sebagai rangkak.



Gambar 3.12 Modulus sekan dan modulus tangen beton
(Sumber : Nawy, 1990)

Dalam keterbatasan rumus untuk mencari nilai modulus elastisitas dinding dikarenakan belum adanya rumus modulus elastisitas dinding pada SNI, maka digunakan rumus modulus elastisitas yang diadopsi dari persamaan empiris untuk pasangan dinding pada *Eurocode 6* (1996). Berikut adalah persamaan berdasarkan *Eurocode 6* (1996) :

$$E_k = 1000 \times f_k \quad (3.17)$$

dengan:

E_k = modulus elastis, dan

f_k = kuat tekan dinding pasangan (MPa).