

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pendahuluan

Bab ini menguraikan teori-teori terkait dengan ragam material dan komposisi campurannya guna memperoleh kebenaran ilmiah untuk mencapai tujuan penelitian.

3.2 Pengertian Dinding

Pengertian dinding dalam kamus besar bahasa Indonesia adalah penutup sisi samping (penyekat) ruang, rumah, bilik, dan sebagainya (dibuat) dari papan, anyaman bambu, tembok. Definisi lain juga mengatakan dinding adalah bagian dari bangunan yang berfungsi sebagai pemisah antara ruangan luar dengan ruangan dalam, melindungi terhadap intrusi dan cuaca, penyokong atap dan sebagai pembatas ruangan satu dengan ruangan lainnya, berfungsi pula sebagai penahan cahaya panas dari matahari, menahan tiupan angin dari luar, dan untuk menghindari gangguan binatang. Tiga jenis utama dinding struktural adalah dinding bangunan, dinding pembatas (*boundary*), serta dinding penahan (*retaining*) (www.wikipedia.com, 2015).

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-3430-1994 (Anonim, 2002), dinding terdiri dari dua macam, yaitu dinding pasangan (non struktural) dan dinding struktur. Dinding pasangan adalah dinding yang terbuat dari susunan blok-beton 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. Dinding biasanya tersusun dari batu bata, batako atau bata hebel. Secara umum fungsi dinding adalah:

1. sebagai pemikul beban di atasnya,

2. sebagai pembatas ruang, 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 dari luar (sinar matahari, isolasi terhadap suhu, air hujan dan kelembapan, hembusan angin, serta gangguan dari luar lainnya).

Fungsi dinding dilihat dari nilai kenyamanan, kesehatan dan keamanan, sebagai:

1. pemisah antar ruangan,
2. pemisah ruang yang bersifat pribadi, dan bersifat umum,
3. penahan cahaya, angin, hujan, banjir dan lain-lain yang bersumber dari alam,
4. pembatas dan penahan struktur (untuk fungsi tertentu seperti dinding, lift, reservoir dan lain-lain),
5. penahan kebisingan,
6. penahan radiasi sinar atau zat-zat tertentu seperti pada ruang radiologi, ruang operasi, laboratorium, dan lain-lain, dan
7. fungsi artistik tertentu dan penyimpanan surat-surat berharga seperti brankas di bank dan lain-lain.

Indonesia merupakan negara yang sering dilanda gempa, baik gempa tektonik maupun gempa vulkanik, oleh karena itu diperlukan dinding tahan gempa yang nantinya bisa mendukung dalam pembuatan bangunan tahan gempa mengingat dinding merupakan salah satu bagian dari sebuah bangunan. Dinding merupakan komponen non-struktur yang sering mengalami kerusakan pasca gempa. Oleh karena itu, kerusakan dinding pasca bencana memerlukan teknik perbaikan dan perkuatan yang efisien dan tepat serta mudah dalam pelaksanaannya di lapangan. Untuk memperoleh dinding yang tahan gempa harus dilakukan perkuatan atau penambahan kekuatan dinding untuk mengatasi sifat getas dinding. Pada penelitian ini, digunakan kawat *wire mesh* sebagai bahan perkuatan pada dinding panel serta untuk menambah daktilitasnya.

3.3 Material Pembentuk Dinding

Material pembentuk dinding merupakan bahan–bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji pada penelitian ini. Penting untuk mengetahui material penyusun benda uji agar dapat diketahui karakteristik material penyusun benda uji. Dalam pengujian ini material yang akan digunakan antara lain campuran semen, pasir, air, limbah koran, abu terbang, dan kawat jaring (*wire mesh*).

3.3.1 Semen PC (*Portland Cement*)

Semen adalah suatu bahan ikat yang dapat memadat jika bersenyawa dengan air menjadi suatu bahan yang kompak, kuat dan keras. Semen *portland* merupakan bubuk halus yang mengandung kapur, silika, alumina dan oksid besi. Semen jika dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan agregat halus (pasir) dan air maka akan terbentuk adukan yang disebut mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar (kerikil) akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton. Dalam campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif adalah kelompok yang berfungsi sebagai pengisi (Tjokrodimulyo, 1996).

Menurut Peraturan Beton 1989 (SKBI.4.53.1989), semen portland dibagi menjadi 5 jenis (SK.SNI T-15-1990-03:2) yaitu.

1. Tipe I, semen *portland* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya. Digunakan untuk bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Tipe II, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus-menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertahan di dalam tanah yang mengandung air agresif (garam-garam sulfat) dan saluran air buangan atau bangunan yang berhubungan langsung dengan rawa.
3. Tipe III, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi. Semen

jenis ini digunakan pada daerah yang bertemperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin (*winter season*).

4. Tipe IV, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah. Digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang besar dan masif, umpamanya untuk pekerjaan bendung, pondasi berukuran besar atau pekerjaan besar lainnya.
5. Tipe V, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industri, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam persentase yang tinggi.

3.3.2 Pasir

Pasir atau agregat halus merupakan suatu bahan yang diperoleh secara alami dari sungai dan tanah galian, ataupun berasal dari proses pemecahan batu. Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Pasir merupakan suatu bahan pengisi pada suatu adukan semen. Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut.

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat di uji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat.
3. Sedangkan jika dipakai magnesium sulfat agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus dicuci.

3.3.3 Air

Air memiliki peranan yang sangat penting pada campuran beton, air digunakan sebagai bahan untuk reaksi kimiawi pada campuran semen. Selain itu air juga digunakan sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar

mudah dikerjakan dengan tetap menjaga workabilitas. Air pada campuran beton berpengaruh terhadap:

1. sifat *workability* adukan beton,
2. besar kecilnya nilai susut beton,
3. kelangsungan reaksi dengan semen portland, dan
4. perawatan adukan beton untuk menjamin perkerasan yang baik.

Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan lainnya bila dicampurkan pada adukan beton akan menyebabkan penurunan kualitas beton yang dihasilkan. Pemakaian air sebaiknya memenuhi persyaratan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI 1971) di bawah ini.

1. Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, bahan-bahan organis atau bahan-bahan lain yang merusak beton dan atau baja tulangan. Dalam hal ini sebaiknya dipakai air bersih yang dapat diminum.
2. Apabila terdapat keraguan mengenai air, dianjurkan untuk mengirimkan contoh air itu ke lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui untuk diselidiki sampai seberapa jauh air itu mengandung zat-zat yang dapat merusak beton dan atau tulangan.
3. Jumlah air yang dipakai untuk membuat adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran isi atau ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya.

3.3.4 Limbah Koran

Kertas bila dilihat dari material pembentukannya merupakan bagian dari rangkaian serat selulosa kayu, yang juga merupakan material berserat. Selulosa atau *cellulose* adalah bahan material terbanyak ke dua di dunia setelah batu. Bahan ini menjadi pembentuk utama dinding kayu tanaman hijau yang juga dapat menjadi bahan kain hingga kertas. Bahan kertas sudah dapat dipastikan ramah lingkungan, karena dapat mengurangi pembuangan sampah kertas dan juga meningkatkan kualitas dan kuantitas daur ulang kertas menjadi sebuah bahan dinding (Delcasse, 2017). Selulosa (*cellulose*) merupakan polimer alam yang

memiliki gugusan rantai yang terhubung dengan molekul gula yang terbentuk dari molekul-molekul yang lebih kecil. Gugusan rantai ini mengandung banyak hidrogen yang mengikat molekul OH, dengan sifat ikatan yang kaku, mengkristal, stabil dan sangat kuat.

Pada penelitian ini, kertas yang digunakan adalah kertas koran bekas yang diolah menjadi bubur kertas dengan tujuan mempermudah proses pengadukan campuran. Proses pembuatan bubur kertas diawali dengan merobek-robek kertas menjadi kecil, kemudian direndam dalam air selama 24 jam dengan perbandingan kertas dan air sebesar 1:8. Selanjutnya, kertas dihancurkan menggunakan blender selama 1-2 menit kemudian bubur kertas disaring kemudian dijemur. Pengeringan dilakukan selama 8 – 12 jam pada cuaca yang terik ataupun menggunakan oven selama 1 – 5 jam dengan suhu 70 - 80°C hingga tercapai keadaan kering oven. Kemudian bubur kertas diperiksa besarnya serapan air yang dapat diserap. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui tingkat serapan air yang akan berpengaruh pada saat pembuatan benda uji, dimana akan terlihat apakah terdapat kebutuhan air tambahan untuk memenuhi kebutuhan air sebagai pereaksi semen. Bubur kertas yang telah diproses digunakan sebagai bahan substitusi sebagian agregat, sehingga akan diperoleh beton yang memiliki berat volume relatif ringan. Karena bahan susunnya sangat ringan, maka dalam pelaksanaan substitusi tidak memakai ukuran berat melainkan volume, karena selisih berat jenis yang terlampaui jauh (bj semen 3,15 gr/cm³ dan bj bubur kertas 0,34 gr/cm³) (Lianasari, 2013).

3.3.5 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. Abu terbang dapat dibedakan menjadi tiga jenis, abu terbang normal yang dihasilkan dari pembakaran batu bara antrasit atau bitumus (kelas F), abu terbang dari pembakaran batu bara jenis *lignite* atau *subbitumeus* (kelas C), dan abu terbang yang dihasilkan dari hasil kalsinasi pozolan alam seperti tanah *diatomice*, *shole*, *tuft*, dan batu apung (kelas N). Abu terbang memiliki komposisi antara lain silika, alumina, fero oksida dan kalsium

oksida. Selain itu juga terdapat kandungan lain seperti magnesium oksida, alkalin dan carbon (Lianasari, 2013).

Keuntungan menggunakan *fly ash* pada beton segar adalah dapat memperbaiki sifat pengerjaan adukan beton (*workability*) akibat bentuk partikelnya yang bundar, mengurangi jumlah air campuran yang dibutuhkan, mengurangi jumlah panas hidrasi yang terjadi, sehingga baik untuk pembuatan beton massa karena dapat mengurangi terjadinya retak, dapat mengurangi kemungkinan terjadinya segregasi dan *bleeding*. Sedangkan pada beton kertas keuntungan penggunaan *fly ash* adalah mempertinggi daya tahan terhadap lingkungan yang bersifat agresif, meningkatkan kerapatan beton, mengurangi penyusutan, mengurangi pengembangan yang disebabkan oleh reaksi alkali agregat (Yogaswara, 1998).

Pengaruh *fly ash* pada beton adalah butiran *fly ash* yang halus membuat beton lebih padat karena rongga antara butiran agregat diisi oleh *fly ash*, sehingga dapat memperkecil pori-pori yang ada dan memanfaatkan sifat pozzolan dari *fly ash*. Selain itu penggunaan *fly ash* dengan takaran tertentu terbukti dapat meningkatkan kekuatan beton (Mardiono, 2010).

Tingkat pemanfaatan abu terbang tergolong masih rendah padahal pada penerapannya *fly ash* memiliki manfaat yang cukup baik jika dicampurkan pada adukan beton. Selain itu dengan memanfaatkan *fly ash* dapat mengurangi dampak polusi yang dapat menjadi ancaman bagi lingkungan. Pada adukan beton, campuran *fly ash* dapat meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas. Kontribusi abu terbang terhadap kekuatan tergantung pada faktor air semen (fas), jenis semen dan kualitas abu terbang itu sendiri.

3.3.6 Beton Kertas (*Papercrete*)

Beton kertas (*papercrete*) adalah suatu material bangunan yang terbuat dari campuran bahan kertas daur ulang, semen *portland* dan pasir. Kertas yang dimaksud adalah limbah kertas koran yang sudah tidak terpakai dan memiliki tekstur kasar yang kemudian dihancurkan dengan cara dicampurkan air menjadi

bubur kertas kemudian diolah kembali agar dapat digunakan sebagai material bahan bangunan (Gunarto, 2008).

Norman dan Juis (2009) dalam Lianasari dan Pading (2013) menyebutkan bubur kertas memiliki beberapa senyawa oksida seperti Silikon Dioksida (SiO_2) 2,35%, Aluminium Oksida (Al_2O_3) 7,70%, Magnesium Oksida (MgO) 3,62%, Kalsium Oksida (CaO) 56,38%, Ferri Oksida (Fe_2O_3) 1,68%. Oksida-oksida tersebut merupakan bahan dasar untuk membuat produk klinker semen, seperti Tricalcium Silicate ($\text{C}_3\text{S} = 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), Dicalcium Silicate ($\text{C}_2\text{S} = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), Tricalcium Aluminate ($\text{C}_3\text{A} = 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), Tetracalcium Aluminate Ferrit ($\text{C}_4\text{AF} = 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) dapat terikat dengan baik oleh campuran semen.

Metode pembuatan *papercrete* ini telah dikembangkan di Amerika, setidaknya setiap tahunnya telah dimanfaatkan kertas bekas untuk membangun dinding setinggi 14 meter mengelilingi negara ini. Survei membuktikan bahwa 45% kertas bekas telah didaur ulang dengan baik, tetapi sisanya sekitar 55% dari 48 juta ton kertas setiap tahunnya hanya berakhir di pembuangan sampah. Bila dilihat dari awalnya, setidaknya dibutuhkan 15 batang pohon untuk menghasilkan satu ton kertas. Itu berarti 720 juta pohon hanya digunakan sekali kemudian berakhir ditempat sampah. Sehingga dibutuhkan pengolahan kembali limbah tersebut untuk menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat. Beton kertas merupakan bahan yang ramah lingkungan dan mendukung upaya pembangunan konstruksi yang ramah lingkungan. (www.livinginpaper.com, 2007)

Menurut Fadholi (2014), beton kertas (*papercrete*) memiliki beberapa keistimewaan yaitu berat jenisnya yang relatif lebih ringan dari dinding beton konvensional, dapat diproduksi sendiri dengan bentuk sesuai keinginan dan kebutuhan, murah serta ramah lingkungan. Kelebihan penggunaan *papercrete* pada dinding antara lain:

1. meredam suara/kebisingan,
2. mampu menyerap panas, dan
3. biaya produksi murah.

Namun selain kelebihan *papercrete* juga memiliki beberapa kelemahan yaitu sebagai berikut ini.

1. Ketahanan kurang terhadap air, apabila dinding sering terkena kontak dengan air maka kekuatannya akan berkurang karena daya serapnya masih tinggi sehingga dapat mengakibatkan kegagalan struktur.
2. Tidak tahan terhadap panas yang tinggi, apabila dinding terbakar dengan suhu yang tinggi pori permukaan dapat cepat terbuka karena bahan kertas mudah terbakar oleh api.

Cara pembuatan benda uji berupa *trial mix* dengan perbandingan komposisi berdasarkan volume sampel, campuran disiapkan dan ditimbang sesuai dengan variasi yang direncanakan untuk setiap adukan. Bahan-bahan tersebut kemudian dimasukkan ke tempat pengadukan (molen) dituang satu persatu dan diputar hingga adukan menjadi rata atau homogen. Untuk limbah kertas sendiri, sebelum dimasukkan ke dalam molen terlebih dahulu dibuat menjadi bubur kertas yang memiliki sifat SSD berupa bubur kertas yang kenyang air dan tidak mengganggu kebutuhan air campuran. Setelah adukannya homogen maka ditambahkan air sedikit demi sedikit sampai keadaan adukan jika diremas akan menggumpal dan tidak menempel pada tangan atau hancur berserakan. Setelah itu adukan tersebut dituangkan ke dalam cetakan. Pada proses penuangan adukan, dilakukan pemadatan adukan dengan cara ditekan atau dipukul dengan penumbuk agar didapatkan hasil yang padat dan rapat (Lianasari, 2013).

3.3.7 Kawat Jaring (*Wire Mesh*)

Kawat adalah benda yang terbuat dari logam yang panjang dan lentur. Pada suatu proyek sipil kawat digunakan sebagai rangkaian untuk tulangan balok, kolom, sloof, kolom praktis, dan rangkaian tulangan lainnya yang berguna untuk membentuk struktur yang kuat dan kokoh. Menurut SNI 07-0954-2005, syarat mutu tulangan baja adalah tidak boleh mengandung serpihan, lipatan, retakan, gelombang dan hanya diperkenankan berkarat ringan pada permukaan.

Menurut SNI 07-0663-1995, jaringan 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 persegi panjang. Kawat-kawat satu sama lain harus saling tegak lurus dan tidak

boleh terdapat cacat-cacat yang dapat mengurangi kegunaannya. Naaman (2000) menyebutkan bahwa jaringan kawat dapat berupa jaringan persegi anyaman atau hasil pengelasan, jaringan kawat anyam yang berbentuk hexagonal, atau silang, semua jaringan kawat ini lebih baik yang telah dilapisi galvanis.

Kawat *wire mesh* adalah besi fabrikasi bertegangan leleh tinggi yang terbentuk dari dua lapis kawat baja yang dikaitkan bersilangan tegak lurus dan berbentuk seperti jaring-jaring. Tiap-tiap kaitan dilas menjadi satu menghasilkan penampang yang homogen dan memiliki kuat penampang yang konsisten. Menurut PBI 1971 pasal 9.2 ayat 2 menyatakan “Pada dinding vertikal yang tidak memikul lentur dengan tebal kurang dari 12 cm, sebagai tulangnya dianjurkan jaring tulangan yang dipasang di tengah-tengah dinding. Pada dinding reservoir air, dinding ruang-ruang di bawah tanah dan pada semua dinding yang lebih tebal dari 30 cm, senantiasa harus dipasang jaring tulangan rangkap.

Pada penelitian ini digunakan kawat *wire mesh* dengan lapisan galvanis dengan dua variabel pembeda yaitu kawat *wire mesh* tunggal diletakkan tepat pada tengah dinding disebut Tipe I dan *wire mesh* dipasang rangkap disebut Tipe II. Perletakan *wire mesh* pada bagian tengah sebagai syarat yang dianjurkan oleh PBI 1971 pada sampel dinding dengan tebal kurang dari 12 cm, namun memiliki kontribusi yang sangat kecil pada pengujian lentur dinding. Sedangkan perletakan tulangan rangkap dilakukan untuk mengetahui kontribusi kekuatan *wire mesh* pada sampel dinding yang mengalami lentur sesuai yang diisyaratkan PBI 1971. Perhitungan kontribusi perletakan *wire mesh* dengan sampel Tipe I dan Tipe II dapat dilihat pada Lampiran 4 dan Lampiran 5.

3.4 Pengujian Material

Pemeriksaan agregat dimaksudkan agar dapat memperoleh material yang baik. Tujuan dari pemeriksaan ini, agar agregat yang digunakan nantinya dapat memenuhi persyaratan. Dalam pemenuhan persyaratan agregat ada beberapa pemeriksaan yang dilakukan. Pemeriksaan yang dilakukan adalah sebagai berikut ini.

3.4.1 Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Pemeriksaan berat volume dari agregat halus yang digunakan ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat agregat halus dengan volume agregat. Baik dalam keadaan gembur maupun keadaan dipadatkan, sehingga dapat mengetahui perbedaan berat volume diantara keduanya. Perhitungan berat volume agregat halus menggunakan persamaan sesuai SNI 03-4804-1998. Persamaan tersebut dapat dituliskan pada Persamaan 3.1 berikut:

$$B_v = \frac{B_k}{V} \quad (3.1)$$

Keterangan :

- B_v = berat volume (gram/cm³)
 B_k = berat benda kering uji oven (gram), dan
 V = volume benda uji (cm³)

3.4.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pemeriksaan ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam agregat halus (pasir). Berat jenis curah adalah perbandingan antara agregat halus kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C. Sesuai dengan SNI 03-1970-1990, perhitungan berat jenis curah menggunakan Persamaan 3.2 berikut.

$$B_{jcurah} = \frac{B_k}{(B + B_u - B_t)} \quad (3.2)$$

Keterangan :

- B_{jcurah} = berat jenis curah (gram/cm³),
 B_k = berat benda kering uji oven (gram),
 B = berat piknometer berisi air (gram),
 B_t = berat piknometer berisi air dan benda uji (gram), dan
 B_u = berat benda uji kondisi SSD (gram).

Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) adalah perbandingan antara berat agregat jenuh kering permukaan dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C. Sesuai dengan SNI 03-1970-1990, perhitungan berat jenis jenuh kering menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$Bj_{SSD} = \frac{Bu}{(B + Bu - Bt)} \quad (3.3)$$

Keterangan :

Bj_{SSD} = berat jenis jenuh kering permukaan (gram/cm³),

B = berat piknometer berisi air (gram),

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

Bu = berat benda uji kondisi SSD (gram).

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat agregat air sulingnya yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C. Sesuai dengan SNI 03-1970-1990, perhitungan berat jenis semu menggunakan Persamaan 3.4 berikut.

$$Bj_{semu} = \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)} \quad (3.4)$$

Keterangan :

Bj_{semu} = berat jenis semu (gram/cm³),

Bk = berat benda kering uji oven (gram),

B = berat piknometer berisi air (gram), dan

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

Penyerapan air adalah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen. Sesuai dengan SNI 03-1970-1990, perhitungan berat penyerapan air menggunakan Persamaan 3.5 berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(Bu - Bk)}{Bk} \times 100\% \quad (3.5)$$

Keterangan :

Penyerapan air = kadar penyerapan air (%),

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

B_u = berat benda uji kondisi SSD (gram).

3.4.3 Kadar Lumpur dalam Agregat

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

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

Keterangan :

W_1 = berat agregat kering oven (gram), dan

W_2 = berat agregat kering oven setelah dicuci (gram).

3.4.4 Modulus Halus Butir

Modulus Halus Butir (MHB) adalah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran suatu kehalusan atau kekasaran butiran-butiran agregat. MHB diperoleh dari jumlah persen kumulatif dari butiran agregat yang tertinggal disuatu ayakan dibagi seratus. Makin besar nilai MHB makin besar pula butir agregatnya. Pada umumnya untuk pasir adalah 1,5–3,8 (Tjokrodimuljo, 1996).

Nilai MHB lebih kecil, maka tergolong pasir berbutir sangat halus dan hal ini kurang baik digunakan pada waktu pembuatan batako, karena campurannya membutuhkan banyak semen jika pasir ini digunakan. Selain itu, dapat juga menyebabkan terjadinya hidrasi, sehingga hal ini merugikan. Jika MHB lebih besar maka tergolong pasir kasar (cenderung akan sama dengan krikil) dan hal ini kurang baik digunakan pada waktu pembuatan batako karena campurannya akan

sedikit menggunakan semen sehingga menyebabkan kurangnya daya rekat agregat pada campuran.

3.5 Perawatan Beton Kertas (*Papercrete*) dan Dinding

Perawat ini dilakukan setelah sampel mencapai *final setting*, artinya beton kertas telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, maka akan menyebabkan beton retak-retak, karena kehilangan air yang begitu cepat (Mulyono, 2003). Menurut SNI 03-2874-2002, perawatan beton dilakukan dengan beberapa cara berikut ini.

1. Beton (selain beton kuat awal tinggi) harus dirawat pada suhu di atas 10°C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya selama 7 hari setelah pengecoran kecuali jika dirawat dipercepat.
2. Beton kuat awal tinggi harus dirawat pada suhu di atas 10°C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya selama 3 hari pertama kecuali jika dirawat dipercepat.
3. Perawatan dipercepat
 - a. Perawatan dengan uap bertekanan tinggi, penguapan pada tekanan atmosfer, panas dan lembab, atau proses lainnya yang dapat diterima, dapat dilakukan untuk mempercepat peningkatan kekuatan dan mengurangi waktu perawatan.
 - b. Percepatan waktu perawatan harus memberikan kuat tekan beton pada tahap pembebanan yang ditinjau sekurang-kurangnya sama dengan kuat rencana perlu pada tahap pembebanan tersebut.
 - c. Proses perawatan harus sedemikian hingga beton yang dihasilkan mempunyai tingkat keawetan paling tidak sama dengan yang dihasilkan oleh metode perawatan biasa.

Pada pengujian ini digunakan umur perawatan beton kertas selama 7 hari dan 14 hari, hal ini dimaksudkan untuk menentukan perkembangan kuat tekan yang terjadi pada campuran *papercrete* yang berupa bubur kertas koran karena mengandung banyak air sehingga mempengaruhi hidrasi pada ikatan semen.

3.6 Pengujian Kuat Tekan Beton Kertas (*Papercrete*)

Pengujian *papercrete* dimaksudkan untuk melihat perbandingan campuran yang maksimum sehingga dapat menghasilkan kuat tekan yang tertinggi. Pengujian kuat tekan adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji beton kertas. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (SNI 03-6825-2002), besarnya kuat tekan dapat dihitung dengan Persamaan 3.7 sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.7)$$

Keterangan:

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

P = beban desak maksimum (N), dan

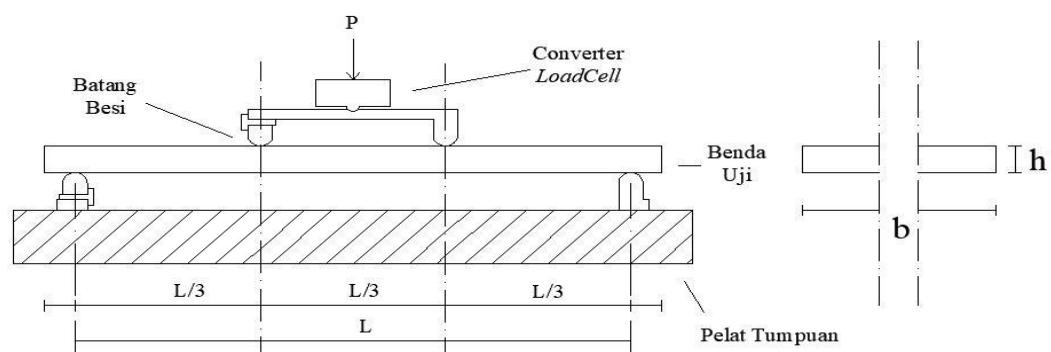
A = luas dari permukaan yang dibebani (mm^2).

3.7 Pengujian Dinding

Pengujian sampel dimaksudkan untuk melihat sifat fisik apabila sampel tersebut diberikkan beban dengan besar gaya tertentu, selain itu pengujian ini menunjukkan kualitas dari dinding.

3.7.1 Uji Lentur

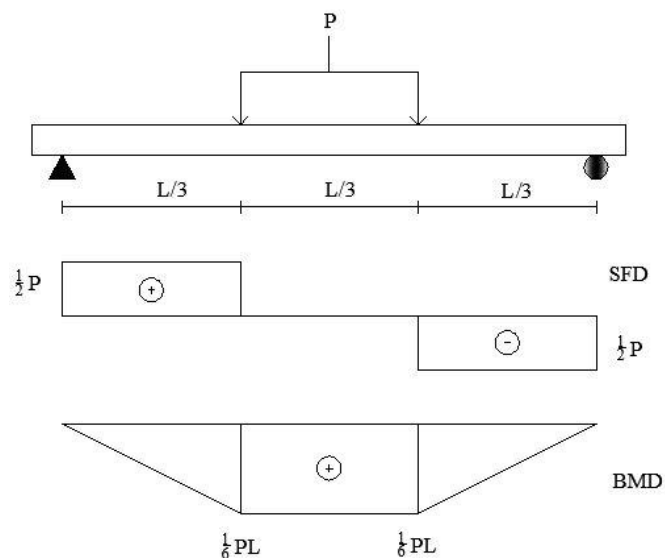
Pengujian kuat lentur beton adalah kemampuan benda uji untuk menahan gaya yang diletakkan pada dua perletakkan dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas. Uji kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Pengujian Kuat Lentur

Menurut Nawy (1990) lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah, maka pada balok akan terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan lentur.

Hasil pengujian dari mesin kuat lentur didapat beberapa parameter yang nantinya dapat digunakan untuk menghitung kuat lentur dari balok tersebut. Data yang diperoleh adalah dimensi tampang balok, beban maksimum, dan jarak beban ke tumpuan. Terdapat dua tipe pembebanan yang dapat digunakan yaitu pembebanan satu titik dan dua titik. Pada pembahasan ini hanya akan dibahas pembebanan dua titik saja. Pembebanan dua titik, merupakan tipe pembebanan yang memiliki perletakan 2 buah pembeban dengan besaran tertentu pada setiap $1/3$ bentang balok yang akan diuji. Pengujian lentur tipe pembebanan dua titik diletakkan beban sebesar $1/2P$ pada setiap $1/3$ bentang. Beban $1/2P$ ini menyebabkan kuat lentur yang dihasilkan merupakan lentur murni.

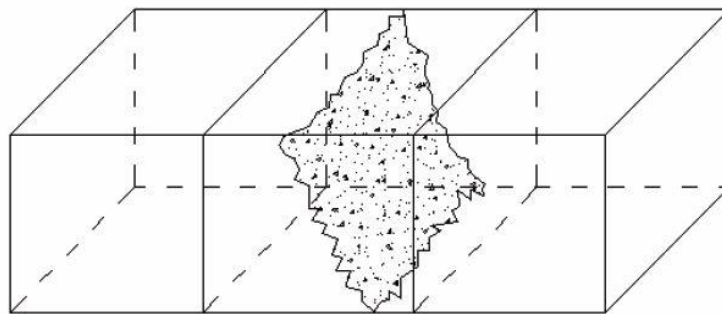


Gambar 3.2 Diagram Pembebanan Dua Titik

Sesuai dengan SNI 03-4431-2011 perhitungan uji lentur dinding menggunakan Persamaan 3.8 dan Persamaan 3.9 sebagai berikut :

1. Bila akibat pengujian patahnya benda uji berada di daerah pusat 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tarik beton, maka dihitung menurut persamaan.

$$f_{lt} = \frac{PL}{bh^2} \quad (3.8)$$

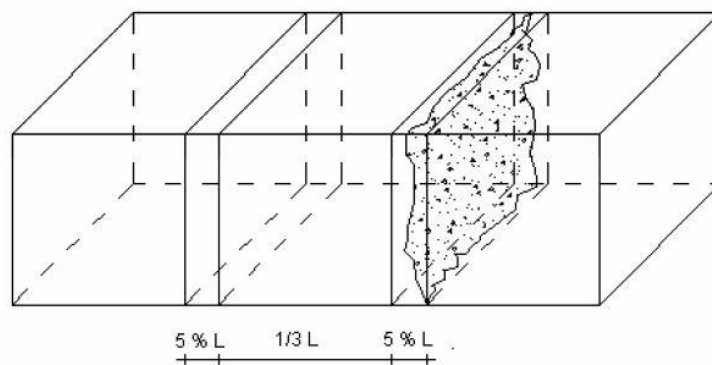


Gambar 3.3 Patah pada 1/3 Bentang Tengah

(Sumber: SNI 03-4431, 2011)

2. Bila akibat pengujian benda uji patah diluar pusat (diluar 1/3 jarak titik perletakan) dibagian tarik beton, dan jarak titik patah pada titik pusat (beban) kurang dari 5% jarak titik perletakan, maka kuat lentur beton dihitung dengan rumus:

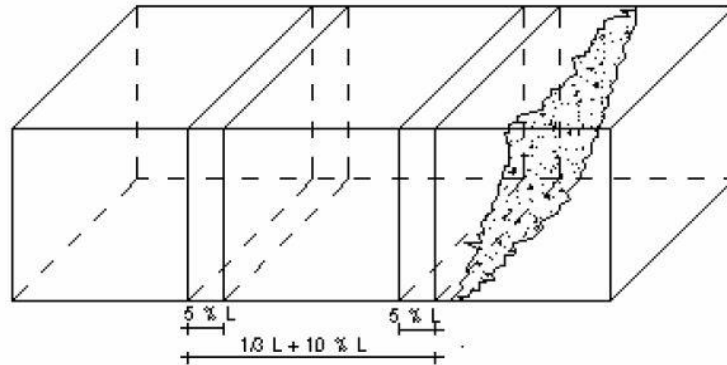
$$f_{lt} = \frac{Pa}{bh^2} \quad (3.9)$$



Gambar 3.4 Patah pada Luar 1/3 Bentang Tengah dan Garis Patah pada < 5% dari Bentang

(Sumber: SNI 03-4431, 2011)

3. Untuk benda uji yang patahnya diluar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) dan jarak titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak digunakan.



Gambar 3.5 Patah Pada Luar 1/3 Bentang Tengah dan Garis Patah pada > 5% dari Bentang

(Sumber: SNI 03-4431, 2011)

Keterangan:

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

P = beban maksimum (N),

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

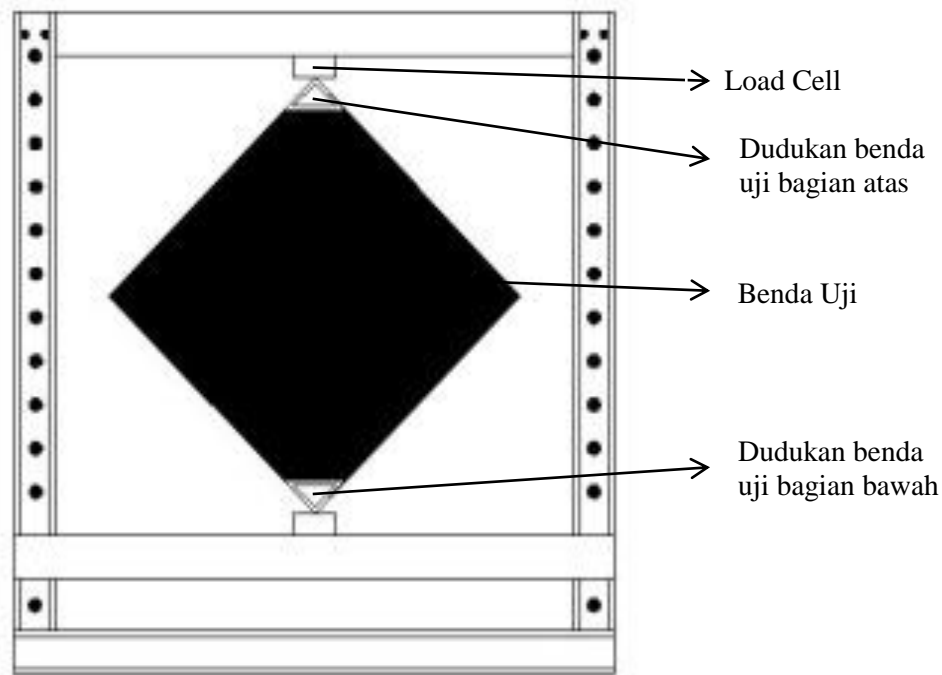
b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm),

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

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

3.7.2 Uji Tarik Diagonal (Geser)

Pengujian tarik diagonal (geser) dinding meliputi penentuan kuat tarik diagonal atau geser sepanjang sumbu diagonal dalam posisi vertikal, sehingga menyebabkan keruntuhan tarik diagonal yang sejajar terhadap arah pembebanan. Pada bagian bawah dan atas benda uji diberi dukungan yang terbuat dari baja. Uji geser dapat dilihat pada Gambar 3.6.

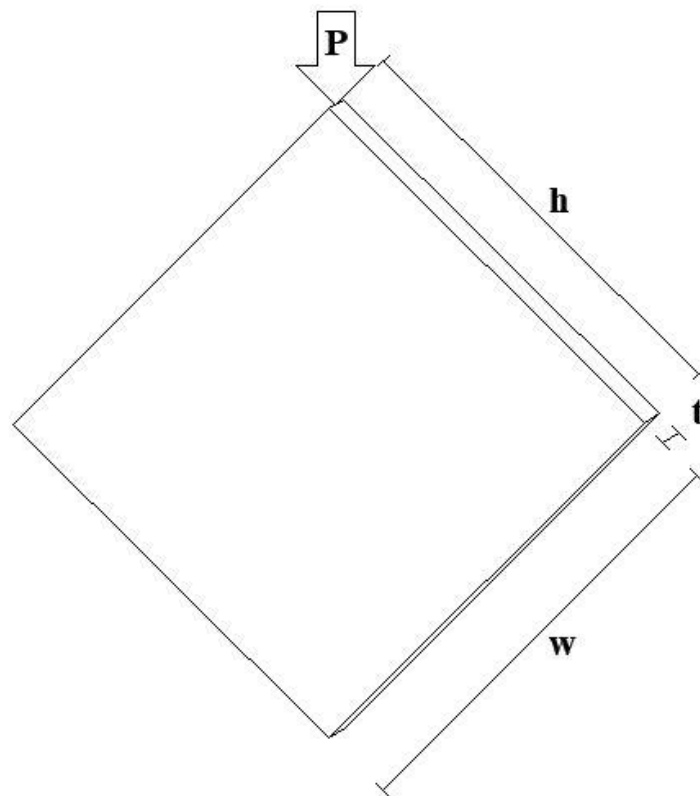


Gambar 3.6 Perletakan Benda Uji Geser Diagonal

Kegagalan atau kerusakan dinding salah satunya disebabkan oleh gaya lateral, Gaya lateral adalah gaya pada bangunan yang bersifat horizontal dengan arah yang tidak menentu, seperti angin dan gempa bumi. Menurut hasil penelitian Wibowo tahun 2012 mengenai *seismic performance of insitu* dan *precast soft storey buildings* dimana 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/keruntuhan tarik diagonal. Kegagalan kompresi geser terjadi karena perilaku kelengkungan yang menyebabkan hancurnya beton sepanjang strut diagonal atau terjadi pemisahan diagonal. Sementara untuk keruntuhan 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 .

Hasil pengujian didapat beberapa parameter yang nantinya dapat digunakan untuk menghitung kuat geser tersebut. Data yang diperoleh adalah dimensi tampang benda uji, beban maksimum dan lendutan. Benda uji geser diagonal dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7 Benda Uji Kuat Geser Diagonal

Sesuai dengan ASTM E519-02 [ASTM, 2002] rumus kuat geser adalah sebagai berikut.

$$\tau = \frac{0,707 \times P}{An} \quad (3.10)$$

$$An = \frac{(w + h)}{2} \times t \times n \quad (3.11)$$

Sedangkan untuk SNI 03-4166-1996 adalah sebagai berikut.

$$\tau = \frac{0,707 \times Pu + M}{An} \times (1 - \mu) \quad (3.12)$$

$$An = \frac{(w + h)}{2} \times t \quad (3.13)$$

Keterangan:

- τ = kuat geser (MPa),
- P = beban maksimum (N),
- M = berat alat bantu (N),
- μ = Koefisien friksi,
- w = lebar benda uji (mm),
- h = tinggi benda uji (mm),
- t = tebal benda uji (mm), dan
- n = persen daerah bruto yang padat, $n = 1$.

3.7.3 Uji Tekan

Kuat tekan dinding adalah gaya yang bekerja pada pasangan dinding per satuan luas penampang dinding yang tertekan. Nilai kuat tekan dinding beton kertas (*papercrete*) dapat dihitung dengan persamaan 3.14 seperti berikut.

$$f'c = \frac{Pu + W}{B \times b} \quad (3.14)$$

Keterangan :

- $f'c$ = kuat tekan dinding (MPa),
- Pu = beban maksimum (N),
- B = lebar benda uji (mm),
- b = tebal benda uji (mm), dan
- W = berat alat bantu (N).