

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah

2.1.1. Pengertian Limbah

Limbah industri adalah semua jenis bahan sisa atau bahan buangan yang berasal dari hasil suatu proses industri. Limbah padat dari suatu industri adalah merupakan semua bahan sisa atau bahan buangan yang tak berguna dan berbentuk padat. Limbah padat dapat berupa kaleng bekas, daun bekas pembungkus, kertas dan sebagainya. Limbah cair adalah semua jenis bahan sisa yang dibuang dalam bentuk larutan atau berupa zat cair. Limbah cair dapat berupa air bekas pencucian pemurnian emas yang mengandung unsur-unsur merkuri busa deterjen dan lain-lain. Limbah organik adalah semua jenis bahan sisa atau bahan buangan yang merupakan bentuk-bentuk organik, dalam arti bahan buangan tersebut akan dapat terurai habis dalam lingkungan dengan adanya organisme-organisme pengurai atau (*decomposer*) sebagai contoh bekas daun pembungkus, kertas dan lain-lain. Limbah an organik semua jenis bahan sisa atau buangan yang tidak dapat terurai dan habis dalam lingkungan contoh sampah plastik limbah industri dapat menjadi limbah yang sangat berbahaya bagi lingkungan hidup (Heryando Polar, 1995).

2.1.2. Debu Batubara (*Fly Ash*)

Debu batubara adalah bahan yang berbutir halus yang bersifat *pozzolanic* yang merupakan bahan alami yang diperoleh dari sisa pembakaran batubara dan pabrik pembangkit panas. Abu terbang mempunyai sifat-sifat yaitu :

a. Sifat fisis

Abu terbang merupakan material yang di hasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga

ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m²/kg.

Fly ash memiliki sifat – sifat fisik antara lain :

Tabel 2.1. Sifat-sifat fisis *fly ash*

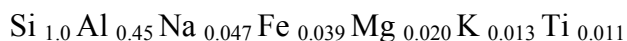
Uraian	Kelas C
Kehalusan	
Jumlah yang diperoleh dengan ayakan basah 45 µm (No.325), % maks.	34
Indek Kekuatan :	
Dengan semen Portland, pada waktu 7 hari, % min	75
Dengan semen Portland, pada waktu 28 hari, % min	75
Kebutuhan Air, % maksimum	105
Soundness:	
Pemuaian dalam <i>autoclave</i> , % maks.	0,8
Keseragaman :	
Densitas, variasi maks., rata-rata, %	5
Jumlah yang diperoleh 45 µm (No.325), variasi % maks.	5

Sumber : Fadly Rulistiano, (2007)

b. Sifat kimia

Sifat-sifat kimia fly ash dipengaruhi oleh banyaknya batubara yang dibakar, teknik pembakaran dan cara penyimpanannya. Komponen utama dari abu batubara (*fly ash*) yang berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

adalah Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3) dan Besi Oksida (Fe_2O_3) sisanya adalah Karbon, Kalsium Magnesium dan Belerang. Rumus empiris Debu Terbang Batubara menurut Marinda Puri (2008) adalah:



Adapun sifat – sifat kimia dari *fly ash* antara lain :

Tabel. 2.2. Sifat-sifat kimia *fly ash*

PARAMETERS		RESULTS	METHODS
- Silicon Dioxide (SiO_2)	%	41,87	Gravimetric
- Aluminium Trioxide (Al_2O_3)	%	7,56	A A S
- Iron Trioxide (Fe_2O_3)	%	10,33	A A S
- Calcium Oxide (CaO)	%	6,09	A A S
- Magnesium Oxide (MgO)	%	2,08	A A S
- Sulfate (SO_4)	%	3,02	Gravimetric

Sumber : Sucofindo, Padang (2009)

Sifat-sifat abu terbang batubara yang menguntungkan pada campuran beton/batako (*Cain.J.C.1994*) adalah:

1. Memperbaiki sifat pengerjaan (workability).
2. Meningkatkan ketahanan beton (durability)
3. Meningkatkan kerapatan beton.
4. Menurunkan panas hidrasi. Reaksi dari abu batu bara dengan kapur jauh lebih lambat dari proses hidrasi, sehingga akan menghasilkan perubahan panas yang lambat sehingga mengurangi derajat panas hidrasi.
5. Menurunkan kerusakan akibat sulfat
6. Mengurangi penyusutan
7. Menurunkan bleeding dan segregasi
8. Meningkatkan kekuatan

Berikut adalah gambar debu batubara yang berlokasi di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Labuhan Angin di Kabupaten Tapanuli Tengah, Sumatera Utara.



Gambar 2.1. Limbah Abu Batubara

Dari segi komposisi kimia, abu batubara (*fly ash*) banyak mengandung silika yang *amorf* ($> 40\%$) dan dapat memberikan sumbangan keaktifan (mempunyai sifat *pozzolan* untuk dibuat bata/block dengan campuran kapur padam), sehingga dengan mudah mengadakan kontak dan bereaksi dengan kapur yang ditambahkan membentuk senyawa kalsium silikat, yang bertanggung jawab pada proses pengerasan campuran atau massa (Suhanda dan Hartono, 2009)

2.1.3. Abu Sekam Padi (*rice husk ash*)

Dari penggilingan padi dapat dihasilkan 65 % beras, 20 % sekam, dan sisanya hilang (Ismunadji, 1988). Pemanfaatan sekam padi secara komersial masih relatif kecil. Hal ini karena sifat yang dimilikinya antara lain kasar, nilai gizi rendah, kepadatan yang juga rendah, serta kandungan abu yang cukup tinggi (Houston, 1972). Sekam mengandung senyawa organik berupa lignin dan chetin, selulosa, hemiselulosa, senyawa nitrogen, lipida, vitamin B dan asam organik,

sedangkan senyawa anorganik yang terkandung di dalam sekam dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Komposisi Kimia Sekam Padi (% berat)

No	Komponen	Persentase Berat
1	H ₂ O	2,40-11,35
2	Crude Protein	1,70 - 7,26
3	Crude Fat	0,38 - 2,98
4	Ekstrak Nitrogen Bebas	24,70 - 38,79
5	Crude Fiber	31,37-49,92
6	Abu	13,16 - 29,04
7	Hemiselulosa	16,94-21,95
8	Sellulosa	34,34-43,80
9	Lignin	21,40 - 46,97

Sumber: *Ismunadji, 1988*

Dalam kajian ini, bahan yang digunakan sebagai pengganti pasir adalah abu sekam padi. Abu sekam padi adalah sisa pembakaran sekam padi yang dapat secara mudah dan dalam jumlah yang banyak dengan kata lain merupakan limbah dari tempat penggilingan padi. Setelah mengalami proses pembakaran, senyawa-senyawa seperti sellulosa, hemisellulosa, dan asam organik akan diubah menjadi CO₂ dan H₂O. Abu halus yang dihasilkan dari proses pembakaran sekam padi berwarna keputih-putihan sebanyak 13,16% - 29,04%. Hasil pembakaran tersebut mengandung silika sebagai komponen utamanya, dimana kandungan silika ini mencapai 86,9% - 97,3% basis kering (*Houston, 1972*). Bila dilihat dengan

mikroskop abu sekam padi berbentuk struktur sel (*Cellular Structure*), dengan banyak pori yang tertutup.



Gambar 2.2. Abu Sekam Padi

Dan berikut adalah komposisi kimiawi abu sekam padi

Tabel: 2.4. Komposisi kimiawi abu sekam padi

Senyawa Kimia	Kadar (%)
SiO ₂	91,16
K ₂ O dan Na ₂ O	4,75
CaO	0,65
MgO	0,99
Fe ₂ O ₃	0,21
SO ₃	0,10

Sumber: Bode Haryanto,(2002)

Dan sisa pembakaran ini kebanyakannya hanya tertumpuk secara terbuka di luar kawasan kilang. Keadaan ini akan mengancam alam sekitar dan dapat menyebabkan pencemaran udara. Padahal abu sekam padi sangat berpotensi sebagai sumber bahan baku alternatif yang murah bagi masyarakat.

2.1.4. Kulit Kerang

Kerang merupakan nama sekumpulan moluska *dwicangkerang* daripada *family cardiidae* yang merupakan salah satu komoditi perikanan yang telah lama dibudidayakan sebagai salah satu usaha sampingan masyarakat pesisir. Teknik budidayanya mudah dikerjakan, tidak memerlukan modal besar dan dapat dipanen setelah berumur 6 – 7 bulan. Hasil panen kerang per hektar per tahun dapat mencapai 200 – 300 ton kerang utuh atau sekitar 60 – 100 ton daging kerang (Porsepwandi, 1998).

Ada dua jenis kerang yang sangat dikenal yaitu kerang dagu dan kerang bulu. Perbedaan nyata dari kedua jenis ini adalah dari lapisan kulitnya. Pada jenis kerang bulu lapisan terluar kulitnya masih terdapat rambut, bentuk kulitnya licin. Sedangkan pada kerang dagu kulitnya berjalur-jalur. Banyaknya jalur ini sesuai dengan lama kerang tersebut hidup. Kulit kerang berbentuk seperti hati, bersimetri dan mempunyai tetulang di luar. Kekerasan kulit kerang tidak bergantung dari usia kerang tersebut, artinya kerang yang masih muda maupun yang sudah tua mempunyai kekerasan yang sama (Syahrul Humaidi, 1997).

Dari hasil pola difraksi sinar – X diketahui bahwa kulit kerang pada suhu di bawah 500 °C tersusun atas Kalsium Karbonat (CaCO₃) pada phase aragonite dengan struktur kristal orthorombik. Sedang pada suhu di atas 500°C berubah menjadi phase calcite dengan struktur Kristal hexagonal (Syahrul Humaidi, 1997). Berikut adalah gambar kulit kerang buluh yang berasal dari Kota Tanjungbalai Sumatera Utara.



Gambar 2.3. Kulit Kerang Buluh di Pekarangan Rumah

Tabel: 2.5. Komposisi Kimia Serbuk Kulit Kerang

No	Komponen	Kadar (% berat)
1	CaO	66,70
2	SiO ₂	7,88
3	Fe ₂ O ₃	0,03
4	MgO	22,28
5	Al ₂ O ₃	1,25

Sumber: Siti Maryam, 2006

Serbuk kulit kerang merupakan serbuk yang dihasilkan dari pembakaran kulit kerang yang dihaluskan, serbuk ini dapat digunakan sebagai bahan campuran atau tambahan pada pembuatan beton. Penambahan serbuk kulit kerang yang homogen akan menjadikan campuran beton yang lebih reaktif. Serbuk kulit kerang

mengandung senyawa kimia yang bersifat pozzolan, yaitu mengandung zat kapur (CaO), alumina dan senyawa silika sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku beton alternatif (*Shinta Marito Siregar, 2009*). Serbuk kulit kerang mempunyai komposisi kimia seperti pada tabel 2.5 di atas (*Siti Maryam, 2006*).

2.2. Batako

Pengertian batako adalah salah satu bahan bangunan yang berupa batuan yang pengerasannya tidak dibakar dengan bahan pembentuk yang berupa campuran pasir, semen, air dan dalam pembuatannya dapat ditambahkan bahan tambahan lainnya (aditif). Kemudian dicetak melalui proses pemadatan menjadi bentuk baik-balok dengan ukuran tertentu dan dimana proses pengerasannya tanpa melalui pembakaran yang digunakan sebagai bahan untuk pasangan dinding. Batako merupakan komponen non struktural yang disusun dari semen, pasir dan air. Menurut persyaratan umum bahan bangunan di Indonesia (1982) Pasal 6, "Batako adalah bata yang dibuat dengan mencetak dan memelihara dalam kondisi lembab".

Batako terdiri dari dua jenis, yaitu batako jenis berlubang (*hallow*) dan batako yang padat (*solid*). Dari hasil pengetasan terlihat bahwa batako yang jenis solid lebih padat dan mempunyai kekuatan yang lebih baik. Batako berlubang mempunyai luas penampang lubang dan isi lubang masing-masing tidak melebihi 5 % dari seluruh luas permukaannya.



Gambar. 2.4. (a). Batako Berlubang (*Hallow*) dan (b) Batako Padat (*Solid*)

Kekuatan dari batako dipengaruhi oleh komposisi penyusunan yaitu jenis semen dan pasir yang dipakai, dan perbandingan jumlah semen terhadap agregat dan air. Batako yang baik yang masing-masing permukaannya rata dan saling tegak lurus serta mempunyai kuat tekan yang tinggi. Berdasarkan PUBI (1982), disebutkan tentang syarat dan mutu batako serta klasifikasinya sebagai bahan bangunan. Dalam penggunaan batako harus memenuhi syarat fisik maupun syarat ukuran standard dan toleransi sebagai berikut.

2.2.1. Syarat Fisis

Secara fisis batako harus memenuhi syarat sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 2.6. berikut ini.

Tabel 2.6. Persyaratan Fisis Batako

Batako Mutu	Kekuatan Tekan Bruto Minimum*)		Penyerapan Maksimum (% Berat)
	(Kgf/cm ²)		
	Rata-rata dari benda uji	Masing-masing benda uji	
A1	20	17	-
A2	35	30	-
B1	50	45	35
B2	70	65	25

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1982: 27.

*) Kuat tekan *brutto* adalah baban keseluruhan pada waktu benda uji pecah dibagi dengan luas ukuran nominal batako, termasuk luas lubang serta cekung tepi.

Syarat untuk pandangan luar dan kesikuan rusuk, meliputi: (1) bidang permukaannya harus tidak cacat, (2) bentuk permukaan lain yang didesain diperbolehkan, (3) rusuk-rusuknya siku satu sama lain, dan (4) sudut rusuknya

tidak mudah dirapikan dengan kekuatan jari tangan. Sesuai dengan pemakaiannya batako diklasifikasikan dalam beberapa kelompok sebagai berikut: (1) Batako dengan mutu A1, adalah batako yang digunakan hanya untuk konstruksi yang tidak memikul beban, dinding penyekat serta konstruksi lainnya yang selalu terlindung dari cuaca luar; (2) Batako dengan mutu A2, adalah batako yang digunakan hanya untuk hal-hal seperti tersebut dalam jenis A1, hanya permukaan dinding/ konstruksi dari batako tersebut boleh tidak diplester; (3) Batako dengan mutu B1, adalah batako yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban, tetapi penggunaannya hanya untuk konstruksi yang terlindung dari cuaca luar (untuk konstruksi di bawah atap); dan (4) Batako dengan mutu B2, adalah batako untuk konstruksi yang memikul beban dan dapat digunakan pula untuk konstruksi yang tidak terlindung.

Berdasarkan SNI 03-0349-1989 bahwa syarat fisis batako terlihat pada table 2.7 di bawah ini:

Tabel 2.7. Persyaratan Fisis Batako

Syarat Fisis	Satuan	Tingkat Mutu Bata Beton Pejal				Tingkat Mutu Bata Beton Berlobang			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
1. Kuat tekan bruto rata									
- rata minimum.	kg/cm ²	100	70	40	25	70	50	35	20
2. Kuat tekan bruto masing-masing benda uji.	kg/cm ²	90	65	35	21	65	45	30	17
3. Penyerapan air rata- rata maksimum	%	25	35	-	-	25	35	-	-

Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 1989

2.2.2. Syarat Ukuran Standard dan Toleransi

Ukuran batako sebagaimana yang disyaratkan dalam Standard Industri Indonesia yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.8. *Ukuran Standard dan Toleransi*

Jenis	Ukuran Nominal *) (mm)			Tebal Kelopak (Dinding Rongga) Minimum (mm)	
	Panjang	Lebar	Tebal	Luar	Dalam
Tipis	400 ± 3	200 ± 3	100 ± 2	20	15
Sedang	400 ± 3	200 ± 3	150 ± 2	20	15
Tebal	400 ± 3	200 ± 3	200 ± 2	25	20

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1982: 28.

*) Ukuran nominal sama dengan ukuran batako sesungguhnya ditambah 10 mm, tebal siar/adukan.

Persyaratan batako menurut PUBI (1982) Pasal 6 antara lain adalah "Permukaan batako harus mulus, berumur minimal satu bulan, pada waktu pemasangan harus sudah kering, berukuran panjang ± 400 mm, lebar ± 200 mm, dan tebal 100 – 200 mm, kadar air 25 – 35 % dari berat, dengan kuat tekan antara 2 – 7 N/mm²" (Wijarnako W., 2008). Batako juga merupakan bentukan dari montar ataupun beton, umumnya montar merupakan campuran dari semen, pasir dan air yang dapat merekatkan dalam campuran beton. Sedangkan untuk pandangan luar dan kesikuan rusuk meliputi: (1) bidang permukaannya halus dan tidak cacat, (2) bentuk permukaan lain yang didesain diperbolehkan, (3) rusuk-rusuknya siku satu sama lain, dan (4) sudut rusuknya tidak mudah dirapikan dengan kekuatan jari tangan.

2.2.3. Semen

Semen yang beredar di pasaran harus memenuhi standar tertentu untuk menjamin konsistensi mutu dan kualifikasi produk. SNI merupakan standar yang wajib dijadikan acuan untuk semen yang dipasarkan di seluruh wilayah Indonesia. Jenis semen yang beredar di pasaran meliputi semen Portland Putih, semen Portland mengacu pada SNI 15-2049-2004, semen Portland Komposit mengacu pada SNI 15-7064-2004 dan semen Portland Pozolan mengacu pada SNI 15-0302-2004.

Standar Nasional Indonesia membagi semen Portland menjadi 5 jenis, yaitu :

1. Jenis I, yaitu semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
2. Jenis II, yaitu semen Portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V. Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

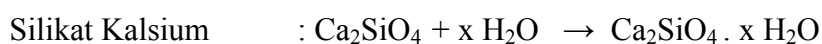
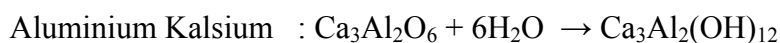
Menurut Shinroku Saito, 1985. Bahwa Semen dapat dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu :

1. Semen non-hidrolik , tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air akan tetapi dapat mengikat dan mengeras di udara. Contoh : kapur tohor, aspal, gypsum.
2. Semen hidrolik, mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh : semen Portland, semen Terak, semen alam.

Semen yang digunakan untuk campuran beton ini adalah semen Portland yang merupakan campuran Silikat Kalsium dan Aluminium Kalsium yang dapat

berhidrasi bila terdapat air (semen tidak mengeras karena pengeringan tetapi oleh reaksi hidrasi kimia yang melepaskan panas).

Reaksi hidrasi kimia :



(*Ferdinan L.S and Andrew.P, 1985*).

Dalam penelitian ini digunakan semen jenis 1, yang dikenal dengan nama PCC (Portland Cements Composite) termasuk dalam kategori semen hidrolis.

2.2.4. Agregat

Agregat adalah bahan pengisi yang berfungsi sebagai penguat. Hampir tiga perempat volume beton ditempati oleh agregat, sehingga karakteristik agregat akan menentukan kualitas beton. Biasanya, Agregat berkisar 60 % sampai 80 % total volume beton (*Thornton,P.A., 1985*). Agregat merupakan bahan yang bersifat kaku dan memiliki stabilitas volume dan durabilitas yang baik daripada semen. Ditinjau dari aspek ekonomis, agregat dalam satuan berat yang sama jauh lebih murah dari pada semen. Agregat merupakan bahan yang bersifat kaku dan memiliki stabilitas volume dan durabilitas yang baik daripada semen.

Untuk menghasilkan beton yang baik, agregat halus maupun agregat kasar harus memiliki gradasi atau komposisi ukuran yang proporsional. Selain itu, tekstur permukaan agregat yang kasar akan menghasilkan kuat lekat yang lebih baik bila berinteraksi dengan pasta semen. Permukaan agregat harus bersih dan bebas dari lumpur dan tanah liat, serta tidak mengandung bahan yang bersifat organik maupun non organik yang dapat menyebabkan terjadinya pelapukan beton. Selain itu pasir juga berpengaruh terhadap sifat tahan susut dan keretakan pada produk bahan bangunan campuran semen (*Van Vlack, LH., 1984*).

Perbedaan antara agregat halus dan kasar adalah ayakan 5 mm atau 3/16". Agregat halus adalah agregat yang lebih kecil dari ukuran 5 mm dan agregat kasar adalah

agregat yang lebih besar dari ukuran 5 mm. Agregat dapat diambil dari batuan alam ukuran kecil atau batuan alam besar yang dipecah. Agregat yang digunakan pada penelitian ini yaitu: Agregat halus : Pasir dari daerah Kota Tanjungbalai yang lolos ayakan 5 mm (Standard ASTM E 11-70) yang telah dicuci untuk menghilangkan zat kimia dan lumpur.

2.2.5. Air

Air sebagai bahan pencampur semen berperan sebagai bahan perekat. Peranan air sebagai bahan perekat terjadi melalui reaksi hidrasi, yaitu semen dan air akan membentuk pasta semen dan mengikat fragmen-fragmen agregat. Kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh perbandingan jumlah air terhadap semen, factor air semen (FAS) atau (w/c – ratio). Secara teori, reaksi hidrasi yang sempurna akan terjadi bila $w/c = 0,6$, artinya secara ideal semen akan habis bereaksi dengan air pada perbandingan tersebut (*Syarif Hidayat, 2009*). Nilai FAS untuk campuran beton secara umum antara $0,25 - 0,65$ (*Tri Mulyono, 2005*).

Kontaminan yang terkandung dalam air dalam jumlah yang melebihi batas dapat menyebabkan reaksi hidrasi antara semen dan air tidak sempurna. Kadar kontaminan ion Sulfat melebihi batas, dapat mengakibatkan deteriosasi beton (kerusakan beton), sedangkan ion klorida akan mengakibatkan korosi pada beton bertulang pada beton dalam kurun waktu tertentu. Air yang dapat diminum memenuhi persyaratan teknis untuk digunakan sebagai air pencampur.

2.3. Karakteristik Beton

Karakteristik beton yang umum ada di pasaran adalah memiliki densitas rata-rata $2000 - 2500 \text{ kg/m}^3$, kuat tekan bervariasi antara $3 - 50 \text{ MPa}$ (*Ergul Yassar et al, 2003*). Pada penelitian ini, batako dibuat dari campuran : semen, pasir, debu batu bara, dan sekam padi. Bahan baku tersebut kemudian dicampur, dicetak, dan dikeringkan secara alami (suhu kamar) dengan waktu pengeringan ditetapkan selama 28 hari. Adapun karakteristik yang akan diuji meliputi:

2.3.1. Sifat Fisis

2.3.1.1. Densitas (*Density*)

Densitas adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi densitas (massa jenis) suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Densitas rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi total volumenya. Sebuah benda yang memiliki densitas lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda bermassa sama yang memiliki densitas lebih rendah. Air memiliki densitas yang dipandang sebagai referensi nilai pada kondisi standar suhu 4 °C tekanan 1 atmosfer secara internasional massa jenis air 1 gr/cm³.

Untuk menghitung besarnya densitas dipergunakan persamaan matematis sebagai berikut (Gurning. J, 1994).

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(2 - 1)$$

dimana: ρ = densitas benda (gr/cm³)

m = massa benda (gr)

V = volume benda (cm³)

2.3.1.2. Daya Serap Air (*Water Absorption*)

Besar kecilnya penyerapan air oleh beton sangat dipengaruhi oleh pori atau rongga yang terdapat pada beton. Semakin banyak pori-pori yang terkandung dalam beton maka akan semakin besar pula penyerapan sehingga ketahanannya akan berkurang. Rongga (pori) yang terdapat pada beton terjadi karena kurang tepatnya kualitas dan komposisi material penyusunnya. Pengaruh rasio yang terlalu besar dapat menyebabkan rongga, karena terdapat air yang tidak bereaksi dan kemudian menguap dan meninggalkan rongga (K.J.Bishop, R.E.Smallman, 1991).

Daya serap air dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Serapan air} = \frac{m_j - m_k}{m_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2 - 2)$$

dimana:

m_j = massa sampel jenuh (kg)

m_k = massa sampel kering (kg)

2.3.2. Sifat Mekanik

2.3.2.1. Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Kuat tekan (*compressive strength*) beton merupakan perbandingan besarnya beban maksimum yang dapat ditahan bahan dengan luas penampang bahan yang mengalami gaya tersebut. Secara matematis besarnya kuat tekan suatu bahan (*Tata Surdia, 1984*):

$$P = \frac{F_{\max}}{A} \dots\dots\dots(2 - 3)$$

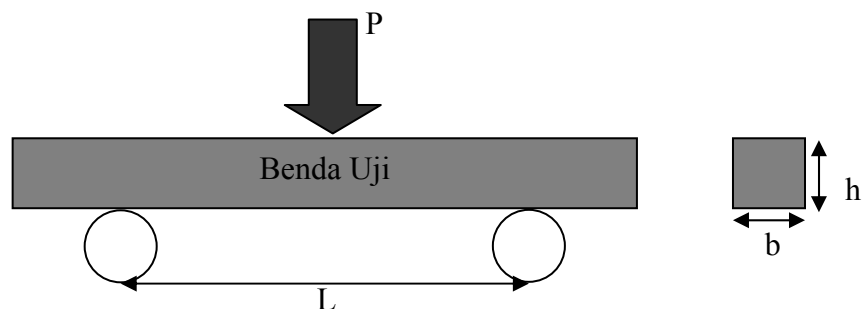
dimana: P = Kuat tekan (N/m²) F = Gaya maksimum (N)

A = Luas permukaan (m²)

Satuan dalam Sistem Internasional (SI) dari tekanan adalah Pascal yang sering disingkat Pa, 1 Pa = 1 Newton/meter².

2.3.2.2. Kekuatan Patah (*Bending Strength*)

Kekuatan patah sering disebut *Modulus of Rapture* (MOR) yang menyatakan ukuran ketahanan bahan terhadap tekanan mekanis dan tekanan panas (*thermal stress*). Pengukuran kekuatan patah sampel digunakan dengan metode titik tumpu (*triple point bending*), nilai kekuatan patah dapat ditentukan dengan standar ASTM C.733-79. Persamaan kekuatan patah (*Bending Strength*) suatu bahan dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :



Gambar. 2.5. Contoh Benda Uji Bending Strength

$$\text{Kuat patah} = \frac{3P.L}{2b.h^2} \dots\dots\dots(2 - 4)$$

dimana:

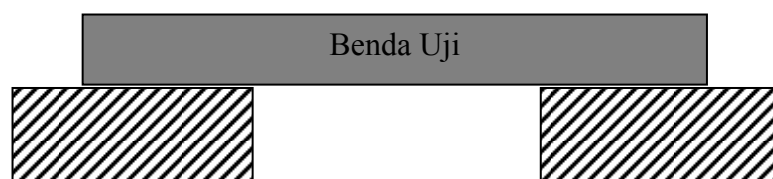
P = Gaya tekan (kgf) L = Jarak dua penumpu/span (cm)

b & h = dimensi sampel (lebar dan tinggi) (cm)

2.3.2.3. Kuat Impak (*Impact Strength*)

Material mungkin mempunyai kekuatan tarik tinggi tetapi tidak tahan terhadap beban kejut. Untuk menentukannya diperlukan uji ketahanan impak. Ketahanan impak biasanya diukur dengan uji impak liot atau charpy terhadap benda uji bertakik atau tanpa takik. Pada pengujian ini beban diayunkan dari ketinggian tertentu dan mengenai benda uji, kemudian diukur energy disipasi pada patahan. Pengujian ini bermanfaat untuk memperlihatkan penurunan keuletan dan kekuatan impak material. Ketanggahan patahan (KC) suatu paduan dianggap lebih tepat dan lebih penting, karena berbagai paduan mengandung retak halus yang mulai merambat apabila menerima beban kritis tertentu. KC mendefinisikan kombinasi kritis antara tegangan dan panjang retak (*K.J.Bishop, R.E.Smallman, 1991*). Pada Penelitian ini penentuan nilai impak dilakukan perhitungan nilai Chappy, yaitu :

$$KC = \frac{AK}{S_0} \dots\dots\dots(2 - 5)$$



Gambar. 2.6. Contoh Benda Uji Impak

dengan:

KC = nilai impak Chappy (kg f/cm²)

AK = harga impak takik (kg f)

S₀ = luas semula di bawah takik dari batang benda uji (cm²)