

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Beton sangat banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan. Beton merupakan ikatan dari material-material pembentuk beton, yaitu terdiri dari campuran agregat (kasar dan halus) semen, air dengan perbandingan tertentu dan dapat pula ditambah dengan bahan campuran tertentu apabila dianggap perlu. Bahan air dan semen disatukan akan membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat, sedangkan agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi. Campuran tersebut bila dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan, maka akan mengeras seperti batuan. Pengerasan itu terjadi akibat hasil hidratisasi (yaitu reaksi kimia antara air dan semen) dan akibatnya campuran itu selalu bertambah keras setara dengan umurnya dengan rongga-rongga antara butiran yang besar (agregat kasar, kerikil atau batu pecah) diisi oleh butiran yang lebih kecil (agregat halus, pasir) dan pori-pori antara agregat halus ini diisi oleh semen dan air (pasta semen).

Kekuatan, keawetan dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat bahan-bahan dasar, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan, dan cara perawatan selama proses pengerasan. Jika ingin membuat beton berkualitas baik, dalam arti memenuhi persyaratan yang lebih ketat karena tuntutan yang lebih tinggi, maka harus diperhitungkan dengan seksama cara-cara memperoleh adukan beton (beton

segar/*fresh concrete*) yang baik dan beton (beton keras / *hardened concrete*) yang dihasilkan juga baik.

Menurut (Asroni, 2010) beton mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan, kelebihan beton antara lain :

1. Beton termasuk tahan aus dan tahan terhadap kebakaran.
2. Beton sangat kokoh dan kuat terhadap beban gempa bumi, getaran, maupun beban angin.
3. Berbagai bentuk konstruksi dapat dibuat dari bahan beton
4. Biaya pemeliharaan atau perawatan sangat sedikit (tidak ada).

Kekurangan beton antara lain :

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan, atau tulangan kasa (*meshes*).
2. Konstruksi beton itu berat, sehingga jika dipakai pada bangunan harus disediakan pondasi yang cukup besar/ kuat.
3. Untuk memperoleh hasil beton dengan mutu yang baik, perlu biaya pengawasan tersendiri.
4. Konstruksi beton tidak dapat dipindahkan, disamping itu bekas (*rosokan*) beton tidak ada harganya.

2.2 Beton Segar (*Fresh Concrete*)

Beton segar yang baik ialah beton segar yang dapat diaduk, diangkut, dituang, dipadatkan, dan tidak ada kecenderungan untuk terjadi *segregation* (pemisahan kerikil dari adukan) maupun *bleeding* (pemisahan air dan semen dari adukan). Hal ini karena segregasi maupun *bleeding* mengakibatkan kualitas beton yang diperoleh akan jelek.

Tiga hal penting yang perlu diketahui dari sifat-sifat beton segar, yaitu: kemudahan pengerjaan (*workability*), pemisahan kerikil (*segregation*), pemisahan air (*bleeding*).

2.2.1 Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)

Yang dimaksud dengan *workability* adalah bahwa bahan-bahan beton setelah diaduk bersama, menghasilkan adukan yang bersifat sedemikian rupa sehingga adukan mudah diangkut, dituang/dicetak, dan dipadatkan menurut tujuan pekerjaannya tanpa terjadi perubahan yang menimbulkan kesukaran atau penurunan mutu. Unsur-unsur yang mempengaruhi workabilitas yaitu :

1. Jumlah air pencampur.

Semakin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar itu dikerjakan (namun jumlahnya tetap diperhatikan agar tidak terjadi *segregation*)

2. Kandungan semen.

Penambahan semen ke dalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan penambahan air campuran untuk memperoleh nilai FAS (faktor air semen) tetap.

3. Gradasi campuran pasir dan kerikil.

Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton akan mudah dikerjakan. Gradasi adalah distribusi ukuran dari agregat berdasarkan hasil persentase berat yang lolos pada setiap ukuran saringan dari analisa saringan.

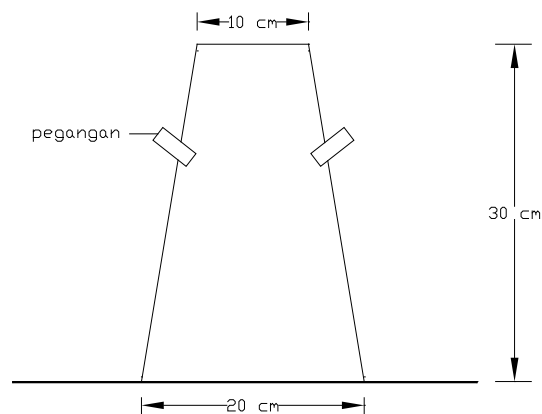
4. Bentuk butiran agregat kasar

Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah untuk dikerjakan.

5. Cara pemadatan dan alat pemadat.

Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan.

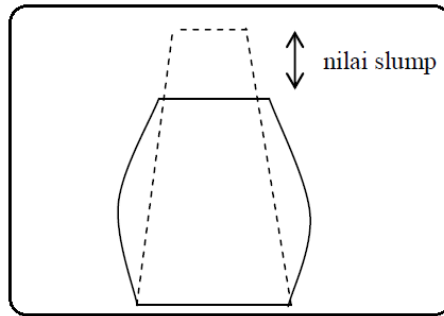
Konsistensi/kelecakan adukan beton dapat diperiksa dengan pengujian *slump* yang didasarkan pada SNI 03-1972-1990. Percobaan ini menggunakan corong baja yang berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya, yang disebut kerucut Abrams. Bagian bawah berdiameter 20 cm, bagian atas berdiameter 10 cm, dan tinggi 30 cm (disebut sebagai kerucut Abrams), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kerucut Abrams

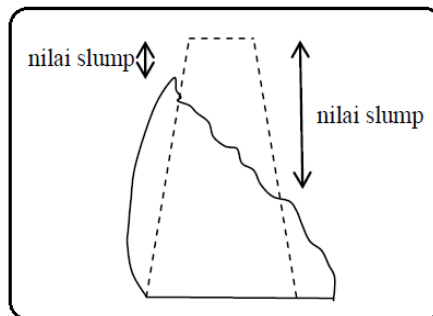
Ada tiga jenis *slump* yaitu *slump* sejati (*slump* sebenarnya), *slump* geser dan *slump* runtuh.

1. *Slump* sebenarnya, merupakan penurunan umum dan seragam tanpa ada adukan beton yang pecah, oleh karena itu dapat disebut *slump* yang sebenar. Pengambilan nilai *slump* sebenarnya dengan mengukur penurunan minimum dari puncak kerucut.



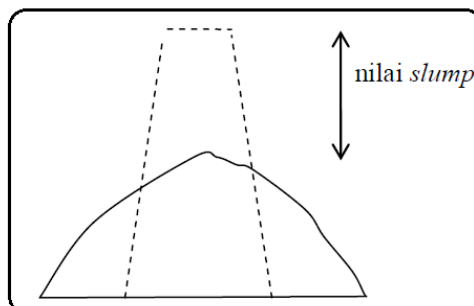
Gambar 2.2 *Slump* sebenarnya

2. *Slump geser* terjadi bila separuh puncaknya tergeser atau tergelincir ke bawah pada bidang miring. Pengambilan nilai *slump* geser ini ada dua yaitu dengan mengukur penurunan minimum dan penurunan rata-rata dari puncak kerucut.



Gambar 2.3 *Slump* geser

3. *Slump runtuh*, terjadi pada kerucut adukan beton yang runtuh seluruhnya akibat adukan beton yang terlalu cair, pengambilan nilai *slump* ini dengan mengukur penurunan minimum dari puncak kerucut



Gambar 2.4 *Slump* runtuh

2.2.2 Pemisahan Kerikil (*Segregation*)

Kecenderungan agregat kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan *segregation*. Ada dua tipe pemisahan agregat, yaitu pemisahan partikel berat ke dasar beton segar atau pemisahan agregat kasar dari campuran beton karena penggetaran yang salah. *Segregation* ini disebabkan oleh beberapa hal, yaitu :

1. Campuran yang kurus (kurang semen)
2. Campuran yang terlalu banyak air
3. Semakin besar butir agregat kasar
4. Semakin kasar permukaan agregat
5. Jumlah agregat halus sedikit

Segregation berakibat kurang baik terhadap beton setelah mengeras. Untuk mengurangi kecenderungan pemisahan agregat tersebut, maka dapat diupayakan sebagai berikut:

1. Mengurangi jumlah air yang digunakan
2. Adukan beton jangan dijatuhkan dengan ketinggian terlalu besar
3. Cara mengangkut, penuangan maupun pemadatan harus mengikuti cara-cara yang betul

2.2.3 Pemisahan Air (*Bleeding*)

Kecenderungan air untuk naik kepermukaan beton yang baru dipadatkan dinamakan *bleeding*. Jadi *bleeding* adalah bentuk dari *segregation*. *Bleeding* disebabkan karena partikel-partikel agregat dalam campuran beton tidak mampu menahan air.

Bleeding dapat menyebabkan kelemahan, porositas dan keawetan yang kurang. Kantung-kantung air terjadi di bawah agregat kasar atau di bawah tulangan, yang menimbulkan daerah-daerah lemah dan mereduksi ikatan-ikatan. Jika air menguap sangat cepat akan terjadi retakan-retakan plastis.

Bleeding dapat direduksi dengan :

1. Memberi lebih banyak semen
2. Menggunakan air seminimal mungkin
3. Menggunakan pasir lebih banyak
4. Meningkatkan hidrasi semen dengan menggunakan semen dengan kadar C_3S yang tinggi

2.3 Beton Keras (*Hardened Concrete*)

Sifat-sifat beton yang mengeras mempunyai arti yang penting selama masa pemakaiannya. Perilaku mekanik beton keras merupakan kemampuan beton di dalam memikul beban pada struktur bangunan. Sifat-sifat penting dari beton yang telah mengeras antara lain : kekuatan tekan beton dan kekuatan tarik belah beton.

2.3.1 Kekuatan Tekan Beton (f'_c)

Kuat tekan beton merupakan sifat yang paling penting dalam beton keras. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Kekuatan tekan benda uji beton dihitung dengan rumus :

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

dengan : f_c' : kekuatan tekan (kg/cm^2)

P : beban tekan (kg)

A : luas permukaan benda uji (cm^2)

Standar deviasi dihitung berdasarkan rumus :

$$S = \frac{\sqrt{\sum(\sigma'_b - \sigma'_{bm})^2}}{N-1} \quad (2.2)$$

dengan: S : deviasi standar (kg/cm^2)

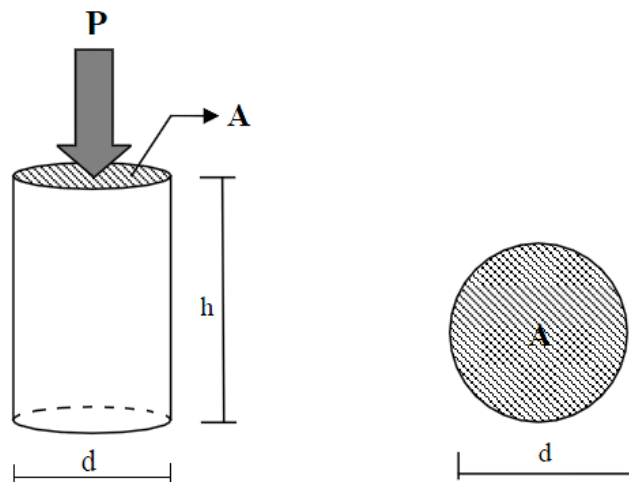
σ'_b : Kekuatan masing-masing benda uji (kg/cm^2)

σ'_{bm} : Kekuatan Beton rata-rata (kg/cm^2)

N : Jumlah Total Benda Uji hasil pemeriksaan

Nilai kuat beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya nilai kuat tekan beton ditentukan pada waktu beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran.

Kekuatan tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f_c' dengan satuan N/mm^2 atau Mpa dan juga memakai satuan kg/cm^2 . Kekuatan tekan beton merupakan sifat yang paling penting dari beton keras. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan pada umur 28 hari berkisar 17-35 MPa, untuk beton prategang digunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi, berkisar antara 30-45 MPa.



Gambar 2.5 Model Benda Uji Silinder

Beberapa faktor utama yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton, yaitu :

1. Proporsi bahan-bahan penyusunnya
2. Metode perancangan
3. Perawatan
4. Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

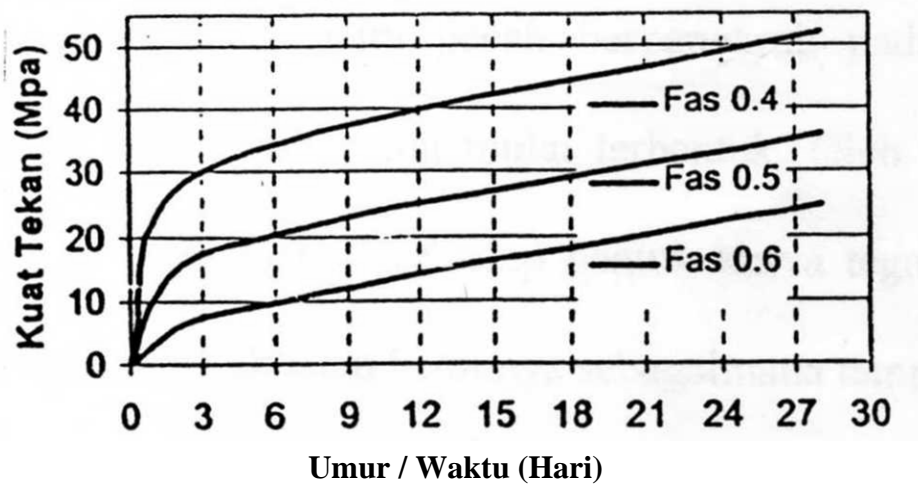
Dari faktor-faktor utama tersebut termasuk didalamnya beberapa faktor lain yang mempengaruhi kekuatan tekan beton, yaitu :

1. Faktor air semen dan kepadatan

Semakin rendah nilai faktor air semen semakin tinggi kuat tekan betonnya, namun kenyataannya pada suatu nilai faktor air semen tertentu semakin rendah nilai faktor air semen kuat tekan betonnya semakin rendah pula, hal ini karena jika faktor air semen terlalu rendah adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen tertentu (optimum) yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum. Duff dan Abrams (1919) meneliti hubungan antara faktor air

semen dengan kekuatan beton pada umur 28 hari dengan uji silinder yang dapat dilihat pada Gambar 2.6 (Mulyono, 2003).

Kepadatan adukan beton sangat mempengaruhi kuat tekan betonnya setelah mengeras. Untuk mengatasi kesulitan pemadatan adukan beton dapat dilakukan dengan cara pemadatan dengan alat getar (*vibrator*) atau dengan memberi bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) yang bersifat mengencerkan adukan beton sehingga lebih mudah dipadatkan.



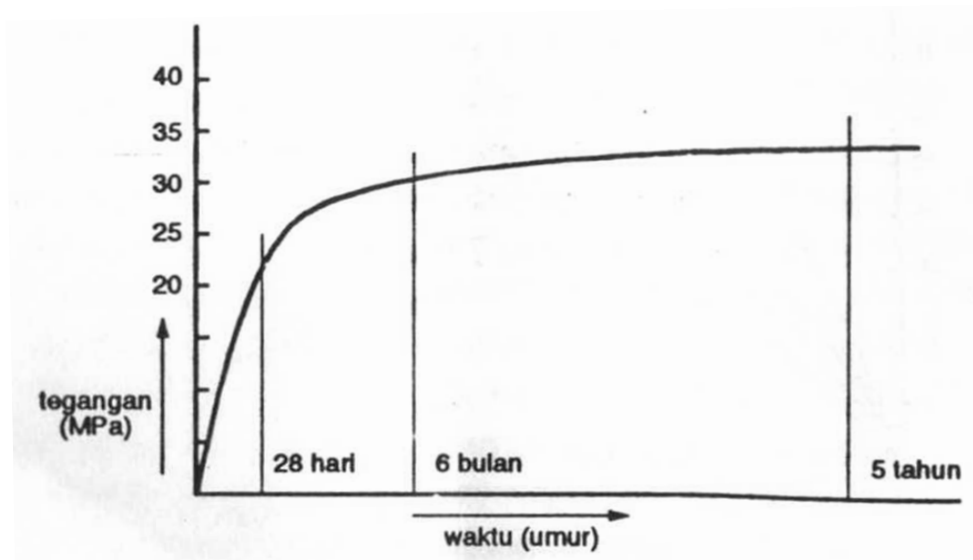
Gambar 2.6 Hubungan antara faktor air semen dengan kekuatan beton selama masa perkembangannya (Mulyono, 2003)

2. Umur beton

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Biasanya nilai kuat tekan ditentukan pada waktu beton mencapai umur 28 hari. Kekuatan beton akan naik secara cepat (*linear*) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya tidak terlalu signifikan (Gambar 2.7). Umumnya pada umur 7 hari kuat tekan mencapai 65% dan pada umur 14 hari mencapai 88% - 90% dari kuat tekan umur 28 hari.

Tabel 2.1 Perkiraan kuat tekan beton pada berbagai umur

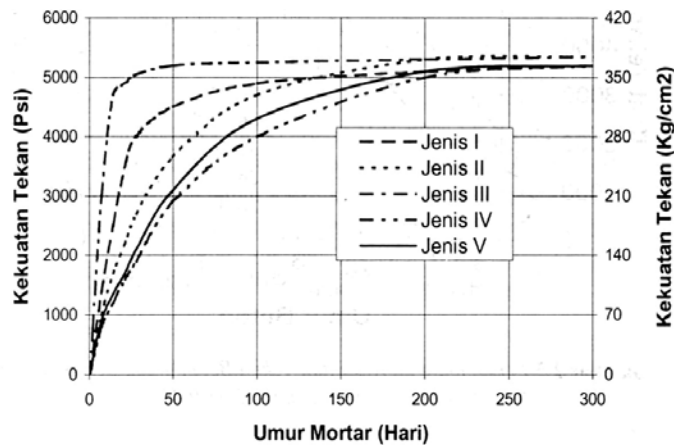
Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
PC Type 1	0,44	0,65	0,88	0,95	1,00	-	-



Gambar 2.7 Hubungan antara umur beton dan kuat tekan beton (Istimawan, 1999)

3. Jenis semen

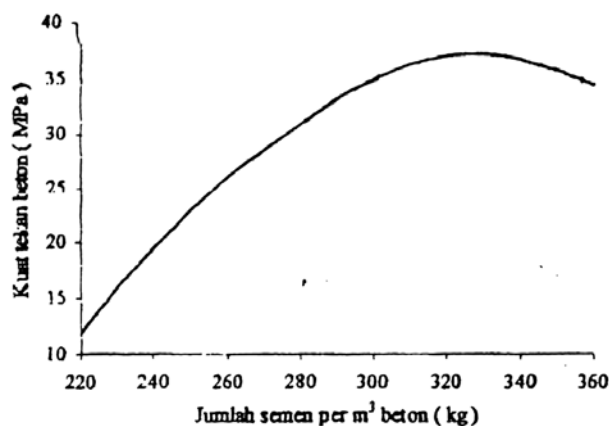
Semen Portland yang dipakai untuk struktur harus mempunyai kualitas tertentu yang telah ditetapkan agar dapat berfungsi secara efektif. Jenis Portland semen yang digunakan ada 5 jenis yaitu : I, II, III, IV, V. Jenis-jenis semen tersebut mempunyai laju kenaikan kekuatan yang berbeda sebagai mana tampak pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Perkembangan kekuatan tekan mortar untuk berbagai tipe Portland semen (Mulyono, 2003)

4. Jumlah semen

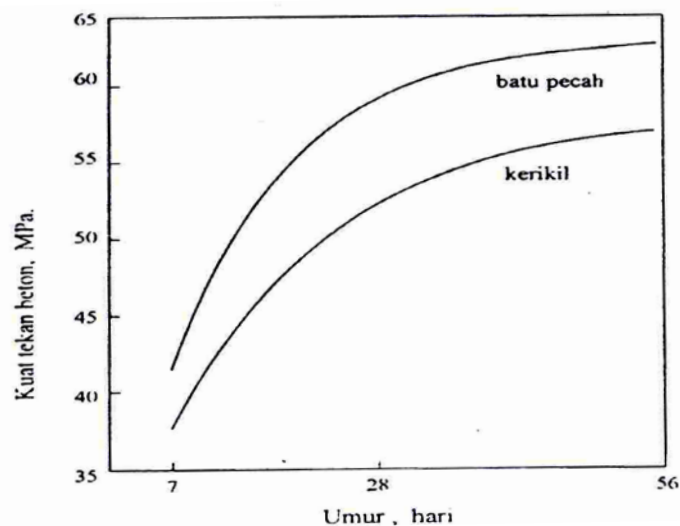
Jika faktor air semen sama (*slump* berubah), beton dengan jumlah kandungan semen tertentu mempunyai kuat tekan tertinggi sebagaimana tampak pada Gambar 2.9. Pada jumlah semen yang terlalu sedikit berarti jumlah air juga sedikit sehingga adukan beton sulit dipadatkan yang mengakibatkan kuat tekan beton rendah. Namun jika jumlah semen berlebihan berarti jumlah air juga berlebihan sehingga beton mengandung banyak pori yang mengakibatkan kuat tekan beton rendah. Jika nilai *slump* sama (*fas* berubah), beton dengan kandungan semen lebih banyak mempunyai kuat tekan lebih tinggi.



Gambar 2.9 Pengaruh jumlah semen terhadap kuat tekan beton pada faktor air semen sama (Tjokrodinuljo, 1998)

5. Sifat agregat

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton ialah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Permukaan yang halus pada kerikil dan kasar pada batu pecah berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak retak beton mulai terbentuk. Oleh karena itu kekasaran permukaan ini berpengaruh terhadap bentuk kurva tegangan-regangan tekan dan terhadap kekuatan betonnya yang terlihat pada Gambar 2.10. Akan tetapi bila adukan beton nilai *slump* nya sama besar, pengaruh tersebut tidak tampak karena agregat yang permukaannya halus memerlukan air lebih sedikit, berarti *fas* nya rendah yang menghasilkan kuat tekan beton lebih tinggi.



Gambar 2.10 Pengaruh jenis agregat terhadap kuat tekan beton (Mindness, 1981)

Pada pemakaian ukuran butir agregat lebih besar memerlukan jumlah pasta lebih sedikit, berarti pori-pori betonnya juga sedikit sehingga kuat tekannya lebih tinggi. Tetapi daya lekat antara permukaan agregat dan pastinya kurang kuat sehingga kuat tekan betonnya menjadi rendah. Oleh karena itu pada beton kuat tekan tinggi dianjurkan memakai agregat dengan ukuran besar butir maksimum 20mm.

2.3.2 Kuat Tarik Beton

Salah satu kelemahan beton adalah mempunyai kuat tarik yang sangat kecil dibandingkan dengan kuat tekannya yaitu 10%–15% f'_c . Kuat tarik beton berpengaruh terhadap kemampuan beton di dalam mengatasi retak awal sebelum dibebani. Pengujian terhadap kekuatan tarik beton dapat dilakukan dengan cara:

1. Pengujian tarik langsung, untuk menguji tarik langsung pada spesimen silinder maupun prisma dilakukan dengan menempelkan benda uji pada suatu pelat besi dengan lem epoxy. Tepi benda uji harus digergaji dengan gerindan untuk menghilangkan pengaruh pengecoran atau vibrasi. Beban kecepatan 0,005 MPa/detik sampai runtuh.
2. Pengujian tarik belah (pengujian tarik beton tak langsung) dengan menggunakan “*Split cylinder test*”. Dengan membelah silinder beton terjadi pengalihan tegangan tarik melalui bidang tempat kedudukan salah satu silinder dan silinder beton tersebut terbelah sepanjang diameter yang dibebaninya. Tegangan tarik tidak langsung dihitung dengan persamaan :

$$T = \frac{2P}{\pi ld} \quad (2.3)$$

Dimana : T : kuat tarik beton (MPa)

P : beban hancur (N)

l : Panjang spesimen (mm)

d : diameter spesimen (mm)

2.4 Bahan Penyusun Beton

2.4.1 Semen

2.4.1.1 Umum

Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar, sedangkan jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*hardened concrete*).

Fungsi semen ialah untuk mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butiran agregat.

Adapun sifat-sifat fisik semen yaitu :

a. Kehalusan Butir

Kehalusan semen mempengaruhi waktu pengerasan pada semen. Secara umum, semen berbutir halus meningkatkan kohesi pada beton segar dan dapat mengurangi bleeding (kelebihan air yang bersama dengan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar), akan tetapi menambah kecendrungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut.

b. Waktu ikatan

Waktu ikatan adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu tahap dimana pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu tersebut dihitung sejak air tercampur dengan semen. Waktu dari pencampuran semen dengan air sampai saat kehilangan sifat keplastisannya disebut waktu ikat awal, dan pada waktu sampai pastinya menjadi massa yang

keras disebut waktu ikat akhir. Pada semen portland biasanya batasan waktu ikatan semen adalah :

- Waktu ikat awal > 60 menit
- Waktu ikat akhir > 480 menit

Waktu ikatan awal yang cukup awal diperlukan untuk pekerjaan beton, yaitu waktu transportasi, penuangan, pemadatan, dan perataan permukaan.

c. Panas hidrasi

Silikat dan aluminat pada semen bereaksi dengan air menjadi media perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Reaksi membentuk media perekat ini disebut hidrasi.

d. Pengembangan volume (*lechatelier*)

Pengembangan semen dapat menyebabkan kerusakan dari suatu beton, karena itu pengembangan beton dibatasi sebesar $\pm 0,8 \%$ (Neville, 1995). Akibat perbesaran volume tersebut, ruang antar partikel terdesak dan akan timbul retak-retak.

2.4.1.2 Semen Portland

Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utama. (ASTM C-150, 1985).

2.4.1.3 Jenis Semen Portland

Jenis/tipe semen yang digunakan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton, dalam hal ini perlu diketahui tipe semen yang telah distandarardisasi di Indonesia. Menurut SNI 15-2049-2004, semen Portland dibagi menjadi lima tipe, yaitu :

Tipe I

Ordinary Portland Cement (OPC), semen untuk penggunaan umum, tidak memerlukan persyaratan khusus (panas hidrasi, ketahanan terhadap sulfat, kekuatan awal)

Tipe II

Moderate Sulphate Cement, semen untuk beton yang tahan terhadap sulfat sedang dan mempunyai panas hidrasi sedang.

Tipe III

High Early Strength Cement, semen untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras)

Tipe IV

Low Heat of Hydration Cement, semen untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah, kekuatan awal rendah.

Tipe V

High Sulphate Resistance Cement, semen untuk beton yang tahan terhadap kadar sulfat tinggi.

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen jenis OPC (*Ordinary Portland Cement*) atau Tipe I, yaitu semen hidrolis yang dipergunakan secara luas untuk konstruksi umum, seperti konstruksi bangunan yang tidak

memerlukan persyaratan khusus, antara lain bangunan perumahan, gedung-gedung bertingkat, jembatan, landasan pacu dan jalan raya.

2.4.1.4 Bahan Penyusun Semen Portland

Bahan utama pembentuk semen portland adalah kapur (CaO), silica (SiO₃), alumina (Al₂O₃), sedikit magnesia (MgO), dan terkadang sedikit alkali. Untuk mengontrol komposisinya, terkadang ditambahkan oksida besi, sedangkan gipsum (CaSO₄.2H₂O) ditambahkan untuk mengatur waktu ikat semen. (Tri Mulyono, 2003)

Komposisi senyawa utama dan senyawa pembentuk dalam semen portland dapat dilihat pada tabel 2.2 dan 2.3 berikut ini.

Tabel 2.2 Komposisi senyawa utama semen portland (Nugraha dan Antoni, 2007)

Nama Kimia	Rumus Kimia	Notasi	Persen Berat
Trikalsium Silikat	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	50
Dikalsium Silikat	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	25
Tirikalsium aluminat	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	12
Tetrakalsium Aluminoforit	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	8
Gipsum	CaSO ₄ .2H ₂ O	CSH ₂	3,5

Tabel 2.3 Komposisi senyawa umum semen Portland (Nugraha dan Antoni, 2007)

Oksida	Notasi	Nama Senyawa	Persen Berat
CaO	C	Kapur	63
SiO ₂	S	Silika	22
Al ₂ O ₃	A	Alumina	6
Fe ₂ O ₃	F	Oksida Besi	2,5
MgO	M	Magnesia	2,6
K ₂ O ₃	K	Alkali	0,6
Na ₂ O	N	Alkali	0,3
SO ₃	S	Sulfur Trioksida	2,0
CO ₂	C	Karbon Dioksida	-
H ₂ O	H	Air	-

2.4.2 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, yaitu berkisar 60%-70% dari volume beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, di mana agregat yang kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar. (Nawy, 1998)

Agregat dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecahan). Agregat alam dan pecahan inipun dapat dibedakan berdasarkan beratnya, asalnya, diameter butirnya (gradasi), dan tekstur permukaannya.

Dari ukurannya, agregat dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu agregat kasar dan agregat halus.

2.4.2.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihaluskan oleh alat-alat pemecah batu, dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200.

Agregat halus yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

a. Susunan butiran (gradasi)

Agregat halus yang digunakan harus mempunyai gradasi yang baik, karena akan mengisi ruang-ruang kosong yang tidak dapat diisi oleh material lain sehingga menghasilkan beton yang padat disamping untuk mengurangi penyusutan. Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus

tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka *Fine Modulus*.

Melalui *Fine Modulus* ini dapat digolongkan 3 jenis pasir yaitu :

- ✓ Pasir Kasar : $2,9 < FM < 3,2$
- ✓ Pasir Sedang : $2,6 < FM < 2,9$
- ✓ Pasir Halus : $2,2 < FM < 2,6$

Selain itu ada juga batasan gradasi untuk agregat halus, sesuai dengan ASTM

C 33 – 74 a. Batasan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.4 Batasan gradasi untuk agregat halus (ASTM C 33-74a)

Ukuran Saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada tiap saringan
9,5 mm (3/8 in)	100
4,76 mm (No. 4)	95 – 100
2,36 mm (No.8)	80 – 100
1,19 mm (No.16)	50 – 85
0,595 mm (No.30)	25 – 60
0,300 mm (No.50)	10 – 30
0,150 mm (No.100)	2 – 10

- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 5% (ternadap berat kering). Apabila kadar Lumpur melampaui 5% maka agragat harus dicuci.
- c. Kadar liat tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering)
- d. Agregat halus harus bebas dari pengotoran zat organic yang akan merugikan beton, atau kadar organic jika diuji di laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standart percobaan Abrams-Harder dengan batas standarnya pada acuan No 3.

- e. Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinya tidak lebih dari 0,60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemuaihan.
- f. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat :
- Jika dipakai Natrium-Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
 - Jika dipakai Magnesium-Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15%.

2.4.2.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 5 mm. Agregat harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang beragam besarnya, sehingga dapat mengisi rongga-rongga akibat ukuran yang besar, sehingga akan mengurangi penggunaan semen atau penggunaan semen yang minimal.

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Susunan butiran (gradasi)

Agregat kasar harus mempunyai susunan butiran dalam batas-batas seperti yang terlihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Susunan Besar Butiran Agregat Kasar (ASTM, 1991)

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persentase Lolos Kumulatif (%)
38,10	95 – 100
19,10	35 – 70
9,52	10 – 30
4,75	0 – 5

2. Agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton. Agregat yang reaktif terhadap alkali dapat dipakai untuk pembuatan beton dengan semen yang kadar alkalinnya tidak lebih dari 0,06% atau dengan penambahan bahan yang dapat mencegah terjadinya pemuaihan.
3. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori atau tidak akan pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan.
4. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci.
5. Kekerasan butiran agregat diperiksa dengan bejana Rudellof dengan beban penguji 20 ton dimana harus dipenuhi syarat berikut:

- Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 - 19,1 mm lebih dari 24% berat.
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19,1 - 30 mm lebih dari 22% berat.
6. Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin Los Angeles dimana tingkat kehilangan berat lebih kecil dari 50%.

2.4.3 Air

Fungsi dari air disini antara lain adalah sebagai bahan pencampur antara semen dan agregat. Air harus bebas dari bahan yang bersifat asam basa, dan minyak. Air yang mengandung tumbuh-tumbuhan busuk harus benar-benar dihindari karena dapat mengganggu pengikatan semen. Sebenarnya air minum juga memenuhi syarat untuk air membuat beton, kecuali air minum yang banyak mengandung senyawa kimia seperti sulfat.

Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak akan mengganggu proses pengerasan atau ketahanan beton. Kotoran secara umum dapat menyebabkan :

1. Gangguan pada hidrasi dan pengikatan
2. Gangguan pada kekuatan dan ketahanan
3. Perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan
4. Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton
5. Bercak-bercak pada permukaan beton.

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan beton. Besi dan zat organis dalam air umumnya

sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

Sumber air pada penelitian ini adalah jaringan PDAM Tirtanadi yang terdapat di Laboratorium Bahan Rekayasa Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

2.4.4 Bahan Tambahan

Bahan tambah (*admixture*) adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama percampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya.

Admixture atau bahan tambah yang didefinisikan dalam *Standard Definitions of terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-1995:61) dan dalam *Cement and Concrete Terminology* (ACI SP-19) adalah sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, mempercepat pengerasan, menambah kuat tekan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi.

Bahan tambah biasanya diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit, dan harus dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang justru akan dapat memperburuk sifat beton.

Di Indonesia bahan tambah telah banyak dipergunakan. Manfaat dari penggunaan bahan tambah ini perlu dibuktikan dengan menggunakan bahan agregat dan jenis semen yang sama dengan bahan yang akan dipakai di lapangan. Dalam hal ini bahan yang dipakai sebagai bahan tambah harus memenuhi ketentuan yang diberikan oleh SNI.

Untuk memudahkan pengenalan dan pemilihan *admixture*, perlu diketahui terlebih dahulu kategori dan penggolongannya, yaitu :

1. *Air entraining Agent*, yaitu bahan tambah yang ditujukan untuk membentuk gelembung-gelembung udara berdiameter 1 mm atau lebih kecil didalam beton atau mortar selama pencampuran, dengan maksud mempermudah pengerjaan beton pada saat pengecoran dan menambah ketahanan awal pada beton.
2. *Chemical admixture*, yaitu bahan tambah cairan kimia yang ditambahkan untuk mengendalikan waktu pengerasan (memperlambat atau mempercepat), mereduksi kebutuhan air, menambah kemudahan pengerjaan beton, meningkatkan nilai *slump* dan sebagainya.
3. *Mineral admixture* (bahan tambah mineral), merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Pada saat ini, bahan tambah mineral ini lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja tekan beton, sehingga bahan ini cenderung bersifat penyemenan. Keuntungannya antara lain : memperbaiki kinerja *workability*, mempertinggi kuat tekan dan keawetan beton, mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton. Beberapa bahan tambah mineral ini adalah pozzolan, *fly ash*, *slang*, dan *silica fume*.

4. *Miscellaneous admixture* (bahan tambah lain), yaitu bahan tambah yang tidak termasuk dalam ketiga kategori diatas seperti bahan tambah jenis polimer (*polypropylene, fiber mash*, serat bambu, serat kelapa dan lainnya), bahan pencegah pengaratan dan bahan tambahan untuk perekat (*bonding agent*).

2.4.4.1 Jenis dan Pengaruh Bahan Tambah Kimia

Menurut standar ASTM. C.494 dan SNI 03-2495-1991, jenis bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe bahan tambah. Bahan Tambahan adalah berupa bubuk atau cairan yang di campurkan kedalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya. Bahan tambah kimia terdiri dari tipe A sampai G yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran, memperlambat waktu pengikatan dan menambah kekuatan awal beton yang diuji dengan beton perbandingan dengan proporsi yang sama tanpa bahan tambahan.

Adapun jenis-jenis bahan tambah kimia antara lain:

- Tipe A “*Water-Reducing Admixtures*”

Water-Reducing Admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. *Water-Reducing Admixtures* digunakan antara lain untuk dengan tidak mengurangi kadar semen dan nilai slump untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau rasio faktor air semen (wcr) yang rendah.

- Tipe B “*Retarding Admixtures*”

Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk memperlambat waktu pengikatan beton.

- Tipe C “*Accelerating Admixtures*”

Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk mempercepat pencapaian kekuatan pada beton.

- Tipe D “*Water-Reducing and Retarding Admixtures*”

Water-Reducing and Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghamat waktu pengikatan awal.

- Tipe E “*Water-Reducing and Accelerating Admixtures*”

Water-Reducing and Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

- Tipe F “*Water Reducing, High Range Admixtures*”

Water Reducing, High Range Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Fungsinya untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Kadar pengurangan air dalam bahan ini lebih tinggi sehingga diharapkan

kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan juga lebih tinggi. Jenis bahan tambah ini dapat berupa *superplasticizer*.

- Tipe G “*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*”

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Biasanya digunakan untuk kondisi pekerjaan yang sempit karena sedikitnya sumber daya yang mengelola beton yang disebabkan oleh keterbatasan ruang kerja.

2.2.4.2 Tetes Tebu (*Molase*)

Tebu merupakan salah satu jenis tanaman yang hanya dapat ditanam di daerah yang memiliki iklim tropis. Di Indonesia, perkebunan tebu menempati luas areal ± 321 ribu hektar yang 64,74% diantaranya terdapat di Pulau Jawa (Departemen Pertanian 2004). Mengingat luasnya areal penanaman tebu yang dimiliki Indonesia, maka semakin besar juga limbah yang dihasilkan dari pengolahan tebu tersebut.

Menurut Risvan (2011) dari hasil samping yang diperoleh langsung pada berbagai tahap pengolahan tebu menjadi gula adalah pucuk tebu, ampas, blotong dan tetes.

a. Pucuk Tebu,

pucuk tebu adalah ujung atas batang tebu berikut 5-7 helai daun yang dipotong dari tebu giling ataupun bibit. Pucuk tebu bias diolah jadi bahan makanan ternak .

b. Ampas tebu

Ampas tebu merupakan limbah selulosik yang banyak sekali pemanfaatannya. Selain untuk makanan ternak, bahan baku pembuatan pupuk dan untuk bahan bakar boiler di pabrik gula, masih banyak lagi pemanfaatannya yang lain. Ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan kanvas rem.

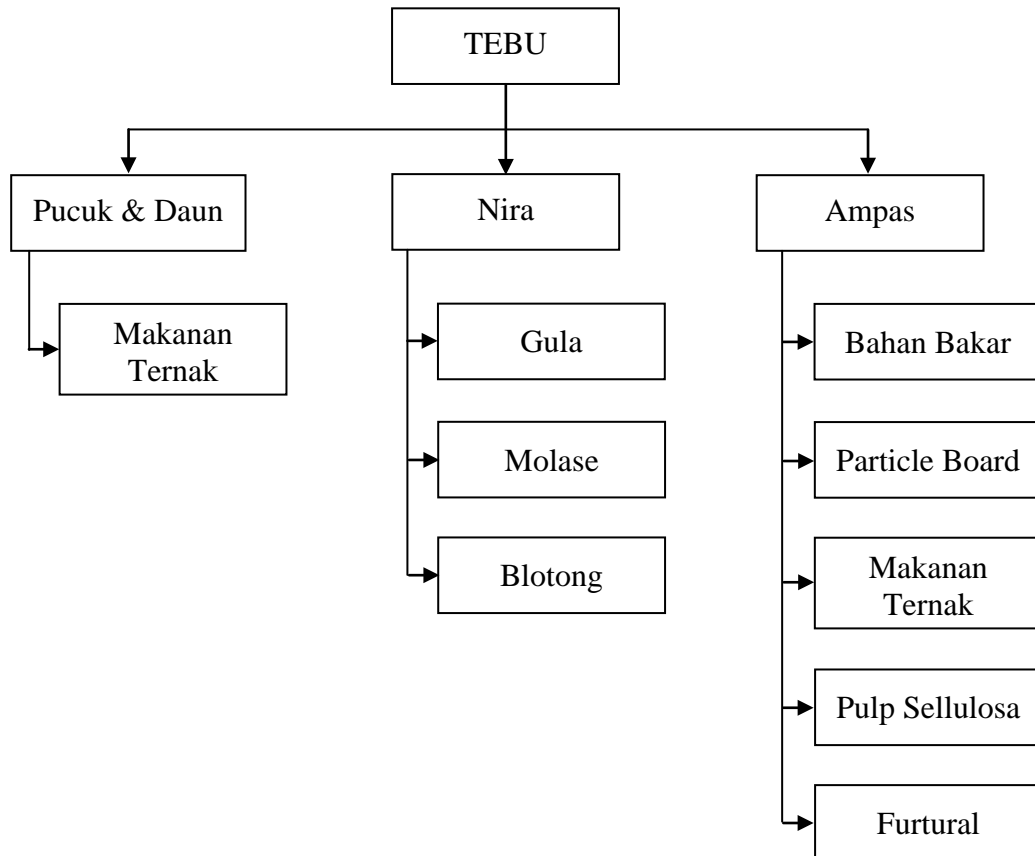
c. Blotong

Selama ini blotong dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Blotong dapat dimanfaatkan antara lain untuk pakan ternak dan pupuk. Penggunaan yang paling menguntungkan saat ini adalah sebagai pupuk di lahan tebu.

d. Tetes Tebu (*Molase*)

Tetes tebu (*molase*) adalah sisa sirup terakhir dari masakan yang telah dipisahkan gulanya melalui kristalisasi berulang kali sehingga tak mungkin lagi menghasilkan gula dengan kristalisasi konvensional.

Tetes atau *molase* berasal dari bahasa Rumania yaitu merupakan hasil akhir yang diperoleh dari nira tebu dengan pengkristalan berulang-ulang. *Molase* merupakan sisa dari hasil kristalisasi gula yang berulang-ulang sehingga tidak memungkinkan lagi untuk diproses menjadi gula.



Gambar 2.11 Diagram alir pemanfaatan tebu

Pada penelitian ini *molase* didapatkan pada pabrik gula Sei Semayang Jl. Binjai km. 12,5. Pabrik gula Sei Semayang merupakan salah satu pabrik yang memproduksi gula di Sumatera Utara. Pabrik gula Sei Semayang memproduksi gula dengan kapasitas produksi 50 ton/hari. Debit limbah yang dihasilkan sebanyak 1500 m³/hari. Tetes tebu yang dihasilkan dari pengolahan gula dapat mencapai 2,7% dari produksi total tebu.

Tetes tebu atau yang sering disebut dengan *molase* biasanya banyak dimanfaatkan untuk pupuk tanaman dan bahan pembuat alcohol. Tetes tebu sebagai limbah buangan, sebenarnya memiliki unsur yang bermanfaat untuk peningkatan mutu beton.

Waktu pengikatan awal yang cukup lama sangat diperlukan untuk pekerjaan beton karena memerlukan waktu transportasi, penuangan, pemadatan dan perataan permukaan. Untuk mendapatkan waktu pengikatan awal semen yang lebih lama, umumnya diberikan bahan tambah (*admixture*) dari jenis retarder (perlambat waktu pengikatan semen) ke dalam campuran beton. Bahan tambah jenis retarder tersebut bahan dasarnya adalah gula.

Tetes tebu adalah salah satu limbah dari pabrik gula. Tetes tebu merupakan sisa dari hasil kristalisasi gula yang berulang-ulang sehingga tidak memungkinkan lagi untuk diproses menjadi gula. Tetes tebu masih mengandung 50% sampai 60% gula dan beberapa senyawa kimia lainnya seperti CaO, CaCl₂, MgO dan MgCl₂.

Tabel 2.6 Komposisi kimia tetes tebu (Wikipedia, 2006)

Unsur	Presentase
Gula	50,69
CaO	1,31
CaCl ₂	2,25
CaSO ₄	0,07
MgO	0,83
MgCl ₂	0,22
MgSO ₄	0,07