

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Mulai tahap perencanaan hingga tahap analisis, penelitian dilaksanakan berdasarkan sumber yang berkaitan dengan topik yang dipilih, yaitu penelitian tentang limbah padat (*sludge*) yang difungsikan menjadi pengganti agregat halus pada beton.

Materi yang dibahas berdasarkan referensi maupun peraturan mengenai teknologi beton yaitu :

- Teori tentang beton
- Limbah padat (*sludge*)
- Material pada beton
- Perencanaan pencampuran beton (*mix design*)
- Solidifikasi/stabilisasi limbah padat (*sludge*)

2.2. Teori Tentang Beton

Beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen *portland* dan air tanpa tambahan zat aditif (PBI, 1971). Tetapi belakangan ini definisi dari beton sudah semakin luas, dimana beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (Neville dan Brooks, 1987).

Nilai kekuatan tekan dari beton (SK SNI M-10-1991-03) diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dibebani dengan gaya tekan sampai benda uji hancur.

Nilai kuat tarik beton sangat kecil, berkisar antara 10% - 15% dari nilai kuat tekannya. Sehingga untuk menambah kuat tarik beton dapat dilakukan dengan diberi tulangan yang mampu menahan gaya tarik.

2.2.1. Kuat Tekan Beton

Sifat beton yang baik adalah jika beton tersebut memiliki kuat tekan tinggi (antara 20 – 50 Mpa, pada umur 28 hari). Dengan kata lain dapat diasumsikan bahwa mutu beton ditinjau hanya dari kuat tekannya saja (Tjokrodimuljo, 1996).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton, yaitu :

1. Faktor air semen (FAS) dan kepadatan

Fungsi dari faktor air semen yaitu :

- Untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan
- Sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar lebih mudah dalam pencetakan beton.

Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari air terhadap semen merupakan faktor utama didalam penentuan kekuatan beton.(Chu Kia Wang dkk, 1986). Sehingga dapat disimpulkan bahwa hampir untuk semua tujuan, beton yang mempunyai faktor air semen minimal dan cukup untuk memberikan workabilitas tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan, merupakan beton yang terbaik. (L.J. Murdock and K.M. Brooks, 1979)

2. Umur beton

Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut. Perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur dapat dilihat pada PBI 1971, halaman 34.

3. Jenis dan jumlah semen

Jenis semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton, sesuai dengan tujuan penggunaannya. (lihat acuan SK SNI S-04-1989-F)

4. Sifat agregat

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya Pada agregat dengan permukaan kasar akan terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan

agregat tersebut. Pada agregat berukuran besar luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan dengan pasta semen menjadi berkurang. (Tjokrodimuljo,1996)

2.2.2. Kuat Tarik Beton

Kekuatan beton dalam tarik adalah juga sifat yang penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak didalam struktur. Kekuatan tarik biasanya ditentukan dengan menggunakan percobaan pembebanan silinder (*the split cylinder*) menurut *ASTM C496 [37]* dimana silinder yang ukurannya sama dengan benda uji dalam percobaan tekan diletakkan pada sisinya diatas mesin uji dan beban tekan P dikerjakan secara merata dalam arah diameter disepanjang benda uji. Benda uji akan terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik. (Chu Kia Wang dkk, 1986).

2.3. Limbah Padat (*sludge*)

Sludge adalah limbah padat dari proses pelapisan industri galvanis. *Sludge* dihasilkan selama proses pelapisan logam yang berasal dari logam pelapis maupun logam yang dilapisi oleh galvanis.

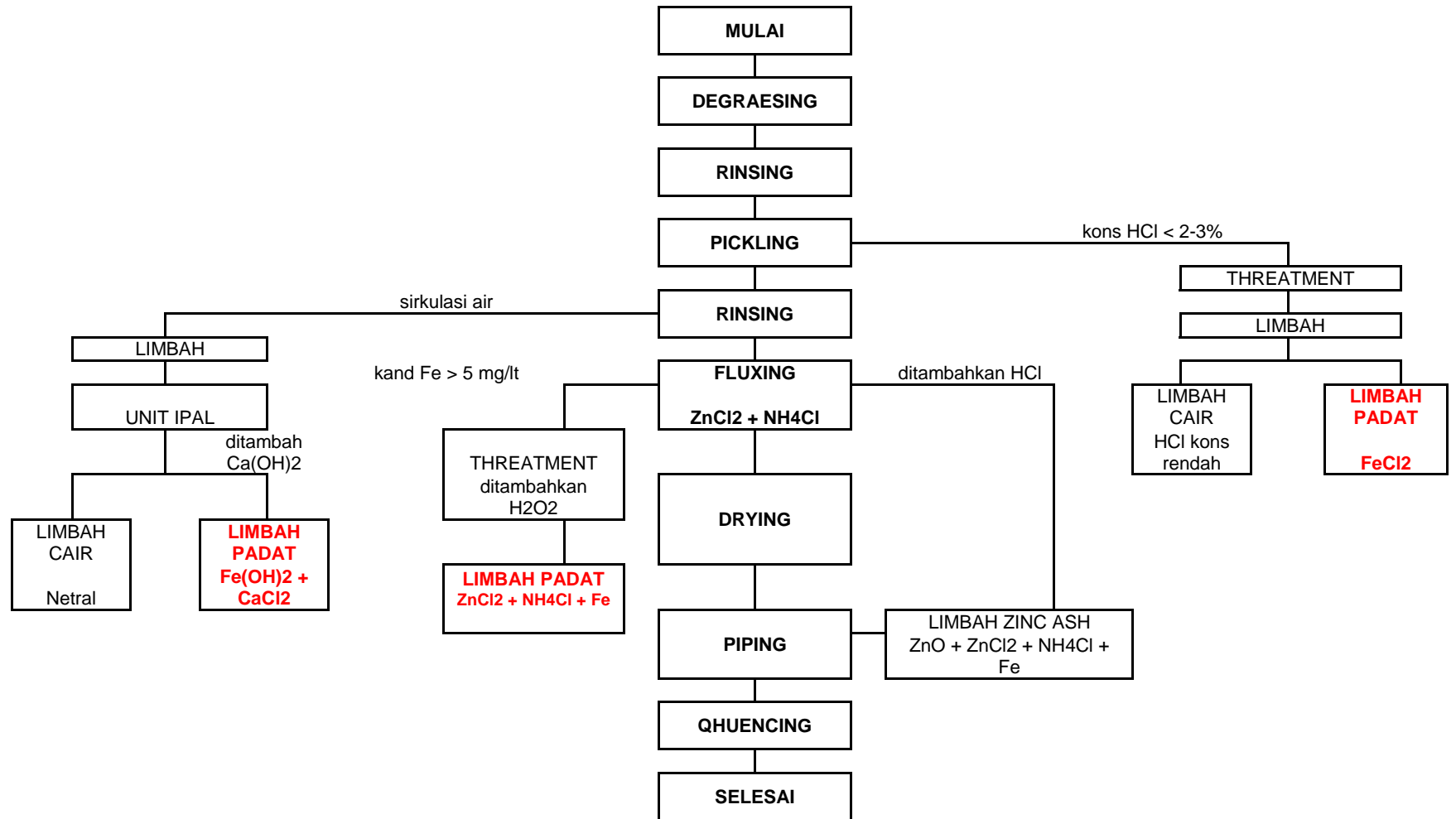
Pada pelapisan logam galvanis, logam yang akan dilapisi (besi) dibersihkan dari kotoran oli/minyak dan cat. Proses ini disebut proses *degreasing*. Selanjutnya logam dicuci dengan air bersih (proses *rinsing*). Logam besi dicelupkan dalam larutan HCl kadar 17% untuk menghilangkan sisa kotoran korosi besi (proses *pickling*). Proses dilanjutkan dengan pencucian dalam air bersih (*rinsing* kedua). Besi yang sudah bersih dari kotoran dan karat direndam dalam larutan katalis (*flux*) berupa larutan $ZnCl_2 + NH_4Cl$, proses ini disebut *fluxing*. Proses *fluxing* berguna untuk melindungi besi dari oksidasi dengan udara untuk sementara. Logam besi dikeringkan dengan cara oven atau diangin-anginkan (proses *drying*). Setelah logam benar benar kering dilanjutkan dengan pencelupan dalam larutan panas Zink cair untuk memberikan lapisan galvanis pada besi (proses *piping*). Langkah terakhir adalah proses *quenching* atau

pendinginan logam besi. Setelah itu logam besi yang sudah terlapisi siap dikirim kepada konsumen.

Limbah galvanis (*sludge*) sendiri terbagi dalam tiga macam limbah yang kesemuanya mengandung Fe yang tinggi. Limbah jenis *pertama* terjadi pada proses *pickling*. Cairan HCl yang digunakan dalam proses ini (kadar 17%) mempunyai keasaman yang tinggi, setelah mengalami pencelupan yang berulang keasamannya akan turun. Bila kadar HCl telah turun dan mencapai kadar 2-3% maka larutan HCl dilakukan *threatment*. Endapan lumpur yang terjadi berupa FeCl₂ hasil pencampuran HCl dengan karat besi (FeO). Persamaan reaksi yang terjadi adalah **HCl + FeO → FeCl₂ + H₂O**. Lumpur FeCl₂ ini dikeringkan untuk kemudian digunakan dalam penelitian.

Jenis yang *kedua* dihasilkan dari proses *rinsing* kedua, air yang digunakan lama kelamaan akan pekat karena terkontaminasi cairan HCl pada proses *pickling*. Air ini mengandung FeCl₂ yang kemudian dialirkan pada unit IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). Selanjutnya untuk mengendapkan limbah, pada IPAL ditambahkan kapur (Ca(OH)₂). Reaksi yang terjadi adalah : **FeCl₂ + Ca(OH)₂ → Fe(OH)₂ + CaCl₂** . Endapan ini diambil untuk selanjutnya dikeringkan dan digunakan dalam penelitian.

Jenis limbah yang *ketiga* berasal dari proses *fluxing*. Cairan *flux* yang lama digunakan akan terkontaminasi logam dari luar (Fe). Bila kandungan Fe dalam *flux* sudah tinggi, harus dilakukan *threatment flux*. Batas ijin kandungan Fe dalam *flux* adalah 5 mg/ltr. *Threatment* yang dilakukan adalah dengan menambahkan cairan H₂O₂. Persamaan reaksi yang terjadi : **ZnCl₂ + NH₄Cl + Fe²⁺ + H₂O₂ → ZnCl₂ + NH₄Cl + Fe**. Lumpur endapan yang terjadi dikeringkan. Pada penelitian ini digunakan ketiga limbah tersebut. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.1 (Sumber : PT. Cerah Sempurna, Semarang).



Gambar 2.1 Bagan Alir Proses Galvanisasi

2.3.1. Kegunaan Limbah Padat (*sludge*)

Secara fisik *sludge* lebih halus dibandingkan agregat halus alam. *Sludge* dapat digunakan sebagai campuran bahan pada beton aspal untuk pembuatan jalan dan pembuatan bata menjadi suatu barang komoditas (Hrc Priyosulistiyono, UGM 2006). Hal ini membuktikan bahwa *sludge* dapat dimanfaatkan kembali dengan tetap memperhatikan lingkungan.

2.3.2. Karakteristik Limbah Padat (*sludge*)

Karakteristik dari Limbah Padat (*sludge*) yaitu :

1. Karakteristik Fisik

Limbah padat (*sludge*) mempunyai butiran partikel berpori pada permukaannya. Limbah padat (*sludge*) ini merupakan material dengan gradasi yang baik untuk *filler*. Ukuran gradasi limbah padat (*sludge*) lebih halus/kecil dibandingkan dengan agregat halus.

2. Karakteristik Kimia

Komposisi kimia limbah padat (*sludge*) pada PT. Cerah Sempurna, Semarang dari hasil analisis pengujian Laboratorium Kimia Analitik (BATAN) Yogyakarta, dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Komposisi kimia dari Limbah padat (*sludge*)

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
Fe	%	31.816 ± 0.088	F-AAS
Zn	%	11.950 ± 0.050	F-AAS
Cr	µg/g	100.500 ± 0.201	F-AAS
Ca	%	7.480 ± 0.080	F-AAS

Keterangan :

Satuan : µg/g =ppm, 1 % = 10.000 ppm

F-AAS : *Flame Atomic Absorption Spectrophotometry*

Sumber : *Data sekunder penelitian - PT. Cerah Sempurna, 2007*

2.4. Material

Material penyusun pada beton dengan campuran limbah padat (*sludge*) ini mempunyai karakteristik yang berbeda bila digunakan sebagai bahan adukan dalam beton. Maka perlu diketahui sifat dan karakteristik masing-masing material penyusun agar dalam pelaksanaan mencapai mutu yang diinginkan.

2.4.1 Semen *Portland* (PC)

Portland cement (PC) atau lebih dikenal dengan semen berfungsi membantu pengikatan agregat halus dan agregat kasar apabila tercampur dengan air. Selain itu, semen juga mampu mengisi rongga-rongga antara agregat tersebut.

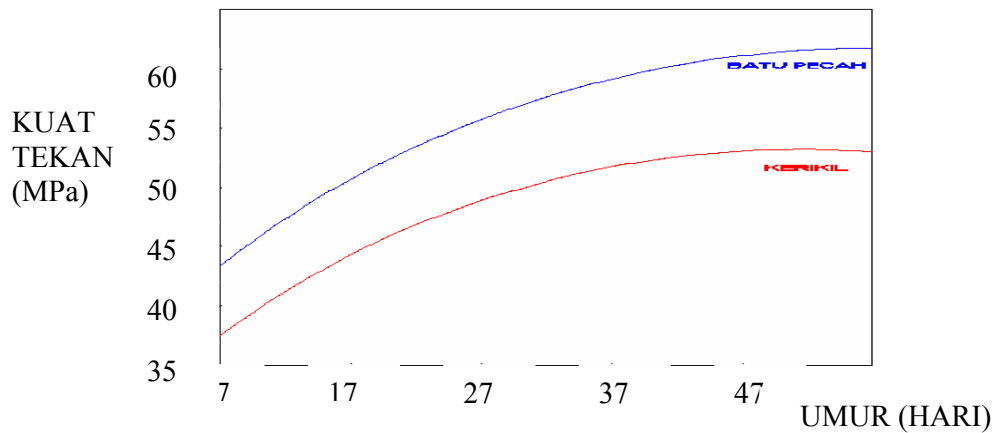
1. Sifat Kimia Semen (lihat acuan SK SNI S – 04 – 1989 – F, hal. 4)
2. Sifat Fisik Semen (lihat acuan SK SNI S – 04 – 1989 – F, hal. 6)

Sifat fisik semen *portland* yaitu :

- a. Kehalusan butir
- b. Berat jenis dan berat isi
- c. Waktu pengerasan semen
- d. Kekekalan bentuk
- e. Kekuatan semen
- f. Pengerasan awal palsu
- g. Pengaruh suhu

2.4.2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Pengaruh kekuatan agregat terhadap beton begitu besar, karena umumnya kekuatan agregat lebih besar dari kekuatan pasta semennya. Namun kekasaran permukaan agregat berpengaruh terhadap kekuatan beton, seperti tampak pada Grafik 2.1.



Grafik 2.1 Pengaruh jenis agregat terhadap kuat tekan beton
(Tjokrodimuljo, 1996)

Agregat digolongkan menjadi 2 kelompok, yaitu:

- Agregat halus (lihat acuan PBI 1971, Bagian 2 Bab 3 Pasal 3.3)
- Agregat kasar (lihat acuan PBI 1971, Bagian 2 Bab 3 Pasal 3.4)

Pengujian agregat bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat dari agregat itu sendiri. Terdiri atas beberapa pengujian diantaranya :

1. Berat Jenis Agregat
 - Agregat Kasar (lihat acuan SK-SNI-M-09-1989-F)
 - Agregat Halus (lihat acuan SK-SNI-M-10-1989-F)
2. Analisa Saringan Agregat (lihat acuan SK-SNI-M-08-1989-F)
3. Kadar Air Agregat (lihat acuan SK-SNI-M-11-1989-F)
4. Berat Isi Agregat (lihat acuan SK-SNI-M-13-1989-F)

Setelah dilakukan pengujian agregat, maka agregat tersebut kemudian dianalisa terhadap syarat-syarat yang telah ditentukan. (lihat acuan PBI 1971, Bagian 2 Bab 3 Pasal 3.3)

2.4.3. Air

Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan serta sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan. Pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan PBI 1971, Bagian 2 Bab 3 Pasal 3.6.

2.5. Workabilitas

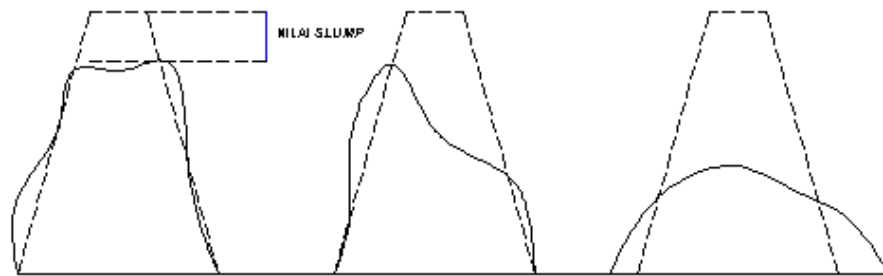
Workabilitas merupakan tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam pencampuran, pengangkutan, penuangan, dan pematatannya. Suatu adukan dapat dikatakan cukup *workable* jika memenuhi kriteria sebagai berikut :

- a. *Plasticity*, artinya adukan beton harus cukup plastis (kondisi antara cair dan padat), sehingga dapat dikerjakan dengan mudah tanpa perlu usaha tambahan ataupun terjadi perubahan bentuk pada adukan.
- b. *Cohesiveness*, artinya adukan beton harus mempunyai gaya-gaya kohesi yang cukup sehingga adukan masih saling melekat selama proses pengerjaan beton.
- c. *Fluidity*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk mengalir selama proses penuangan.
- d. *Mobility*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk bergerak/ berpindah tempat tanpa terjadi perubahan bentuk.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan atau keenceran adukan beton. Makin cair adukan maka makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui kelecakan suatu adukan beton biasanya dengan dilakukan pengujian *slump*. Semakin tinggi nilai *slump* berarti adukan beton makin mudah untuk dikerjakan.

Dalam praktek, ada tiga macam tipe *slump* yang terjadi seperti pada Gambar 2.2 yaitu :

- a. *Slump* sebenarnya, terjadi apabila penurunannya seragam tanpa ada yang runtuh.
- b. *Slump* geser, terjadi bila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir ke bawah pada bidang miring
- c. *Slump* runtuh, terjadi bila kerucut runtuh semuanya.



Gambar 2.2 Tipe-tipe keruntuhan *slump* (1) *slump* sebenarnya (2) *slump* geser (3) *slump* runtuh (Neville dan Brooks, 1987)

2.6. Perencanaan Campuran Beton (*mix design*)

Perencanaan campuran beton (*concrete mix design*) dimaksudkan untuk mendapatkan beton dengan mutu sebaik-baiknya yaitu kuat tekan yang tinggi dan mudah dikerjakan. Adapun untuk perencanaan campuran beton pada penelitian ini digunakan cara DOE.

Mix design Berdasarkan DOE (Department of Environment)

Langkah-langkah dalam perhitungan perencanaan beton dengan metode DOE adalah sebagai berikut :

1. Penentuan Kuat Tekan Beton

Penentuan kuat tekan beton berdasarkan kekuatan beton pada umur 28 hari.

2. Penetapan Nilai Standar Deviasi (S)

Penentuan nilai standar deviasi berdasarkan 2 hal yaitu :

- Mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton.
- Volume pekerjaan

Nilai standar deviasi pada penelitian ini yaitu $S = 46$ (volume beton kurang dari 1000 m^3 dan mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton baik sekali), penetapannya sesuai dengan PBI 1971.

3. Penetapan Kuat Tekan Rata-Rata yang Direncanakan

Dengan menganggap nilai dari hasil pemeriksaan benda uji menyebar normal (mengikuti lengkung dari Gauss), maka kekuatan tekan beton karakteristik adalah :

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1.645 * S. \quad (2-2)$$

Kuat tekan beton rata-rata dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma'_{bm} = \sigma'_{bk} + 1.645 * S \quad (2-3)$$

Keterangan

σ'_{bm} = kuat tekan beton rata-rata (kg/cm²)

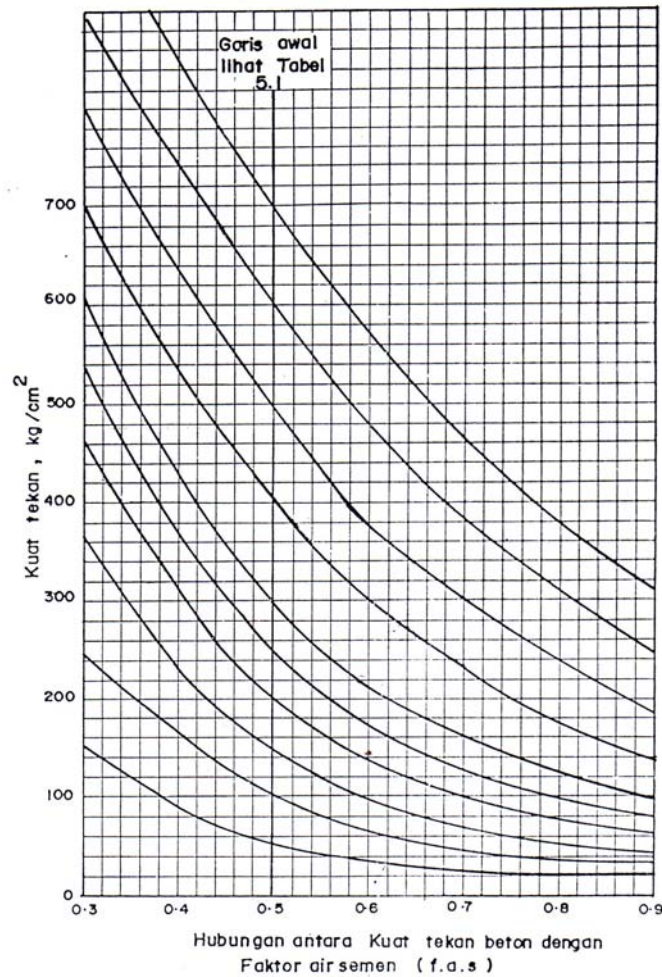
σ'_{bk} = kuat tekan beton yang direncanakan (kg/cm²)

M = 1.645*S = nilai tambah margin (kg/cm²)

S = standar deviasi (kg/cm²)

4. Mencari Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen dicari dengan grafik hubungan kuat tekan dengan faktor air semen, sesuai Teknologi Beton (Tri Mulyono, 2003), seperti pada Grafik 2.2.



Grafik 2.2. Hubungan kuat tekan beton dengan faktor air semen (FAS)

5. Penentuan Nilai *Slump*

Penentuan nilai slump berdasarkan pemakaian beton untuk jenis konstruksi tertentu sesuai PBI 1971.

6. Penentuan Nilai Kadar Air Bebas

Kadar air bebas ditentukan berdasarkan ukuran agregat, jenis batuan dan nilai slump sesuai PBI 1971.

7. Perhitungan Jumlah Semen yang Dibutuhkan

Kadar atau jumlah semen dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air bebas}}{\text{fas}} \quad (2-4)$$

8. Penentuan Prosentase Jumlah Agregat Halus dan kasar

Proporsi agregat halus ditentukan dengan metode penggabungan agregat dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Y = \frac{xa}{100} * ya + \left[\frac{100 - xa}{1000} \right] * yb \quad (2-5)$$

Keterangan :

Y = perkiraan persentase kumulatif lolos ayakan 4.8 mm dan 0.3 mm.

menurut BS (*British Standard*) – 882, persentase kumulatif lolos ayakan 4.8 mm dan 0.3 mm bisa menggunakan *Spec – Ideal 135 – 882*, dimana :

perkiraan persentase lolos ayakan 4.8 mm = 40 %

perkiraan persentase lolos ayakan 0.3 mm = 15 %

Yb = persentase kumulatif pasir lolos ayakan 4.8 mm dan 0.3 mm

Ya = persentase kumulatif split lolos ayakan 4.8 mm dan 0.3 mm

xa = konstanta yang dicari baik dari agregat halus

$$X \text{ rata-rata} = \frac{x1 + x2}{2} \rightarrow \text{persentase dari agregat halus}$$

Prosentase dari agregat kasar (Xb) = 100 % - Xa

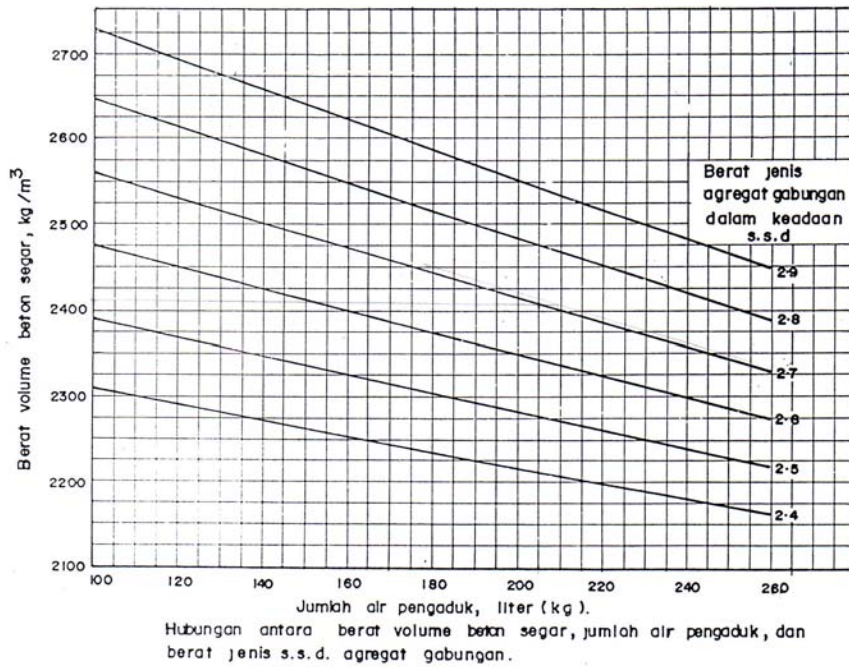
9. Penentuan Berat Jenis Gabungan

Berat jenis gabungan adalah gabungan dari berat jenis agregat halus dan agregat kasar dengan prosentase dari campuran agregat tersebut. Berat jenis gabungan dapat dihitung dengan rumus :

$$BJ_{gab} = \frac{xa}{100} * B_{jxa} + \frac{xb}{100} * B_{jxb} \quad (2-6)$$

10. Penentuan Berat Beton Segar

Berat beton segar dapat ditentukan dengan menggunakan Grafik 2.3 sesuai Teknologi Beton (Tri Mulyono, 2003) berdasarkan data berat jenis gabungan dan kebutuhan air pengaduk untuk setiap meter kubik.



Grafik 2.3 Hubungan antara berat isi campuran beton, jumlah air pengaduk, dan berat jenis SSD agregat gabungan

2.7 Solidifikasi/Stabilisasi Limbah Padat (*Sludge*)

Proses stabilisasi/solidifikasi adalah suatu tahapan proses pengolahan limbah B3 untuk mengurangi potensi racun dan kandungan limbah B3 melalui upaya memperkecil/membatasi daya larut, pergerakan/penyebaran dan daya racunnya (immobilisasi *unsure* yang bersifat racun) sebelum limbah B3 tersebut dibuang ke tempat penimbunan akhir/*landfill* (Kep-03 / Bapedal / 09 / 1995)

Prinsip kerja stabilisasi/solidifikasi adalah pengubahan watak fisik dan kimiawi limbah B3 dengan cara penambahan senyawa pengikat (*landfill*) sehingga pergerakan senyawa-senyawa B3 dapat dihambat atau terbatas dan membentuk ikatan massa monolit dengan struktur yang kekar (*massive*).

Tata cara kerja stabilisasi/solidifikasi :

- 1) Limbah B3 sebelum distabilisasi/solidifikasi harus dianalisa karakteristiknya guna menentukan resep stabilisasi/solidifikasi yang diperlukan terhadap limbah B3 tersebut.
- 2) Setelah dilakukan stabilisasi/solidifikasi, selanjutnya terhadap hasilolahan tersebut dilakukan uji TCLP untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (extract/eluate).
- 3) Terhadap hasil olahan tersebut selanjutnya dilakukan uji kuat tekan (*Compressive Strength*) dengan "*Soil Penetrometer Test*", dengan harus mempunyai nilai tekanan minimum sebesar 10 ton/m² dan lolos uji "*Paint Filter test*".
- 4) Limbah B3 olahan yang memenuhi persyaratan kadar TCLP, nilai uji kuat tekan dan lolos tes *paint filter test*; selanjutnya harus di timbun di tempat penimbunan (*landfill*) yang ditetapkan pemerintah atau yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

Stabilisasi dengan semen cocok untuk tanah yang tidak kohesif, yaitu tanah berpasir atau kerikil yang mengandung sedikit tanah berbutir halus, sedangkan kapur dan *pozzolan* cocok untuk tanah kohesif (Soedarmo dan Purnomo, 1997).

Pada penelitian ini proses solidifikasi dilakukan dengan metode sementasi yaitu mencampur limbah padat (*sludge*) dengan semen, air, pasir dan kerikil hingga menghasilkan massa yang padat dan keras. Dengan pencampuran ini diharapkan dapat membantu pengikatan limbah lumpur tersebut sehingga menjadi suatu matrik padat yang kemungkinannya dapat digunakan sebagai bahan bangunan.