

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN KAOLIN DESA TORAGET
KABUPATEN MINAHASA UNTUK MEREDUKSI
PEMAKAIAN SEMEN**

**Diajukan Sebagai Persyaratan Untuk Menyelesaikan Studi Pada
Program Studi Diploma IV Konstruksi Bangunan Gedung
Jurusan Teknik Sipil**

Disusun oleh :

CHRISTOPHER PUTONG

12 012 013



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI MANADO
JURUSAN TEKNIK SIPIL
2016**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan konstruksi bangunan gedung dan jembatan yang ada pada jaman sekarang lebih banyak menggunakan material beton dari pada baja atau kayu, karena material-material pembentuk beton seperti agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dan semen mudah didapat, serta material beton juga sangat mudah dibentuk.

Semen adalah hasil industri dari bahan baku batu kapur sebagai bahan utama, dan lempung (tanah liat) atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk. Semen merupakan perekat *non-organik* yang biasa digunakan bersama-sama dengan pasir, kerikil dan air untuk membuat beton. Semen juga digunakan untuk membuat material-material yang akan digunakan sebagai komponen dalam pekerjaan konstruksi seperti bata berlubang, bata ringan, keramik dan juga untuk membuat plesteran dan acian.

Banyak pengujian-pengujian yang dilakukan untuk mencari material yang mempunyai fungsi yang sama dengan semen yaitu sebagai pengikat campuran beton. Jika dalam pengujian berhasil, material tersebut yang akan menjadi bahan pengganti sebagian semen. Tujuan dari pengujian tersebut adalah untuk mengurangi penggunaan semen karena dampaknya yang begitu besar yang terjadi pada industri dari semen tersebut, diantaranya adalah pencemaran udara pada sekitar lingkungan pabrik, kualitas air bertambah buruk pada lingkungan setempat akibat limbah cair dari pabrik dalam bentuk minyak dan sisa air dari kegiatan penambangan tanah liat. Selain itu bahan-bahan untuk membuat semen tidak selamanya tersedia maka perlu dipertimbangkan terpenuhinya kebutuhan bahan semen, mengingat tingginya peningkatan permintaan akan bahan pembuat semen yang diperkirakan tidak akan seimbang dengan ketersediaan bahan tersebut.

Bahan pozzolan adalah bahan yang biasa digunakan dalam penelitian sebagai fungsi untuk mengganti sebagian semen, dengan tujuan untuk

mereduksi pemakaian semen. Bahan pozzolan yaitu bahan yang dikategorikan sebagai bahan yang mempunyai sifat fisik dan jenis kandungan kimia yang sama dengan semen. Bahan-bahan pozzolan yang telah dimanfaatkan dalam penelitian-penelitian sebelumnya adalah Abu terbang (*Fly Ash*), Abu sekam padi, Abu serabut kelapa, *Silica fume* dan Kaolin.

Salah satu bahan pozzolan yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen adalah kaolin. Kaolin adalah massa batuan yang tersusun dari material lempung dengan kandungan besi rendah dan pada umumnya berwarna putih dengan komposisi kimia $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Jumlah cadangan kaolin di Desa Toraget di perkirakan mencapai 1.000.000 ton, dan sesuai hasil pemeriksaan kimia terdapat 43,88% Silika (SiO_2), 38,79% Alumina (Al_2O_3) dan 0,42% Besi Oksida (Fe_2O_3) (Depertemen Perindustrian Propinsi Sulawesi Utara, 1984). Jika dijumlahkan prosentasenya ketiga senyawa tersebut melebihi 70%, Sesuai standar *American Society for Testing and Materials (ASTM) C 618-04*, (*“Standar Specification for Fly Ash and Raw or Calcinated Natural Pozzolan for Use a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete”*), bila komposisi ketiga senyawa ini melebihi 70%, maka dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen.

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan di atas maka, judul yang diangkat oleh penulis pada laporan tugas akhir ini adalah **“Pemanfaatan Kaolin Desa Toraget, Kab. Minahasa, Untuk Mereduksi Pemakaian Semen”**.

1.2 Maksud

Maksud dari penulisan tugas akhir ini adalah memanfaatkan kaolin untuk mereduksi pemakaian semen pada campuran beton, mencari seberapa besar pengaruh kaolin pada beton dan juga sebagai usaha untuk memanfaatkan sumber daya alam yang ada di Desa Toraget, Kecamatan Langowan, Kabupaten Minahasa, Propinsi Sulawesi Utara.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini diuraikan sebagai berikut :

1. Menganalisa nilai yang optimal penggunaan kaolin pada prosentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat total semen berdasarkan kekuatan tekan beton.
2. Menganalisa peningkatan kuat tekan beton dengan dan tanpa menggunakan kaolin sebagai bahan pengganti sebagian semen pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari.
3. Menganalisa nilai absorpsi beton pada umur 7 hari dan 28 hari terhadap prosentase kaolin 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat total semen.
4. Mendapatkan korelasi antara kuat tekan dan absorpsi beton dengan dan tanpa kaolin pada umur 7 dan 28 hari.
5. Menganalisa berat volume beton dengan menggunakan prosentase kaolin 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat total semen.

1.4 Pembatasan Masalah

Pada dasarnya untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan spesifik, dalam suatu pengujian diperlukan waktu yang cukup dan biaya untuk menunjang semua kebutuhan material dan peralatan yang dibutuhkan, namun karena adanya keterbatasan dari semua hal tersebut maka penulis membatasi masalah terhadap beberapa faktor berikut:

a. Bahan pembentuk beton :

- 1) *Portland Composit Cement* (PCC), merek Tonasa.
- 2) Agregat Halus : Pasir dari Desa Langsot Kecamatan Kema.
- 3) Agregat Kasar : Batu pecah \emptyset 4.75 – 19 mm dari Desa Langsot Kecamatan Kema.
- 4) Air berasal dari sumur bor lokasi Laboratorium Uji Bahan dan Material Politeknik Negeri Manado.
- 5) Bahan tambahan kimiawi berupa *superplasticizer* merek sikacim.
- 6) Bahan tambahan mineral berupa kaolin dari Desa Toraget Kecamatan Langowan.

- b. Variasi pemakaian kaolin dengan prosentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat total semen.
- c. Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan beton dan pemeriksaan absorpsi beton dengan umur pengujian sebagai berikut :
- 1) Umur 3, 7 dan 28 hari untuk pengujian kuat tekan beton.
 - 2) Umur 7 dan 28 hari untuk pengujian absorpsi beton.
- d. Bentuk benda uji dari setiap pengujian yang digunakan sebagai berikut :
- 1) Berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm untuk pengujian kuat tekan beton.
 - 2) Berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 5 cm untuk pengujian absorpsi beton.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini diawali dengan studi pustaka yang kemudian dilanjutkan dengan pengujian-pengujian yang dilakukan di Laboratorium Uji Bahan dan Material Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado. Tahapan-tahapan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Pemeriksaan karakteristik material berdasarkan ASTM yang akan diuraikan pada tabel 1.1.

Tabel 1.1. Jenis pemeriksaan dan acuan standar yang digunakan

Jenis Pengujian	Acuan Standar yang digunakan	
	Jenis Material / Bahan	
	Agregat Kasar	Agregat Halus
Gradasi Agregat	ASTM C 136-04	ASTM C 33
Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	ASTM C 127-04	ASTM C 128-04
Berat Volume Agregat	ASTM C 29M-04a	ASTM C 29M-04a
Kadar Air	ASTM C 566-04	ASTM C 566-04
Keausan Agregat Kasar	ASTM C 131-04	-

Sumber : (ASTM volume 04.02, 1993)

2. Desain komposisi campuran beton dengan menggunakan metode ACI 211.4R-93 (menggunakan bahan pozzolan *Fly Ash*) yang kemudian dimodifikasi dengan menggunakan bahan pozzolan kaolin.
3. Pada pengecoran benda uji dibuat perincian dengan prosentase pemakaian semen + kaolin sebagai berikut :
 - a) 100% semen – 0% kaolin
 - b) 95% semen – 5% kaolin
 - c) 90% semen – 10% kaolin
 - d) 85% semen – 15% kaolin
 - e) 80% semen – 20% kaolin
4. Pencampuran beton segar berdasarkan hasil komposisi yang didesain.
5. Setelah proses pencampuran selesai dilakukan pengujian slump terhadap adukan beton segar.
6. Pembuatan dan pemadatan beton pada cetakan yang digunakan.
7. Pemeriksaan berat volume benda uji.
8. Perawatan benda uji beton.
9. Sampel beton kemudian diuji berdasarkan pengujian yang sudah direncanakan sebagai berikut :
 - a) Pengujian kuat tekan beton, dengan pembagian benda uji berdasarkan umur beton 3, 7 dan 28 hari, masing-masing 3 benda uji. Pengujian kuat tekan beton berdasarkan ASTM C 39-04.
 - b) Pemeriksaan absorpsi beton, dibuat masing-masing 2 benda uji (1 sampel beton yang di potong menjadi 4 potongan kemudian diambil 2 bagian tengahnya), dan pemeriksaannya dilakukan pada umur beton 7 dan 28 hari. Pemeriksaan absorpsi beton berdasarkan ASTM C 1585 – 04.
10. Menganalisa data hasil pemeriksaan dan pengujian yang telah dilakukan.
11. Hasil penelitian dibuat dalam bentuk tabel dan grafik.
12. Dibuat kesimpulan terhadap hasil penelitian.
13. Membuat laporan / menyusun tugas akhir berdasarkan hasil yang telah diperoleh.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, maksud dan tujuan, pembatasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini memuat tentang teori-teori konsep penunjang materi yang akan dibahas pada pembahasan.

BAB III PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang pembahasan mengenai hasil penelitian yang dilaksanakan.

BAB IV PENUTUP

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran berdasarkan hasil dari pembahasan dalam bab III.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat tentang literatur-literatur yang digunakan dalam pembahasan, serta pedoman penulisan yang menjadi landasan teori dalam menyusun tugas akhir ini.

LAMPIRAN

Berisikan tentang data-data pendukung dalam penyusunan tugas akhir ini seperti foto-foto pelaksanaan dan hasil pengujian serta data hasil pengujian-pengujian agegat yang telah diperoleh.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Umum Beton

Beton adalah sebuah bahan bangunan yang digunakan untuk membuat perkerasan jalan, struktur bangunan, fondasi, bendungan dan jembatan. Bentuk paling umum dari beton adalah semen, dan agregat mineral (biasanya batu pecah dan pasir), juga ditambahkan dengan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan beton. Nilai kekuatan serta daya tahan beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya ialah nilai banding campuran dan mutu agregat penyusunnya, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, dan kondisi perawatan pengerasannya (Diphosusodo, 1994).

Secara umum proporsi komposisi unsur pembentuk beton terdiri dari agregat kasar dan halus yang menempati 60% sampai 80%, semen yang menempati 7% sampai 15%, udara yang menempati 1% sampai 8% dan air yang menempati sekitar 14% sampai 21% dari volume beton (Murdock dan Brook, 1986).

Keuntungan dari penggunaan material beton (Young. J. F, 1993) :

1. Penyediaan material mudah.
2. Biaya pemeliharaan dapat dijangkau.
3. Tahan api (sekitar 1 sampai 3 jam tanpa bahan kedap api tambahan).
4. Lebih ekonomis dibandingkan dengan material yang lain bilah dilihat dari segi kekuatan dan keawetan.
5. Mempunyai daktilitas yang tinggi.
6. Mudah dibentuk dan sangat menunjang untuk memenuhi desain arsitektur.

Kerugian dari penggunaan material beton (Wahyudi dan Syahril, 1999):

1. Kekuatan beton hanya berkisar 5% sampai 10% dari kekuatan baja.
2. Beton mengalami rangkai dan susut dalam jangka waktu yang panjang

3. Kekuatan tarik beton hanya sekitar 10% dari kekuatan tekannya, sehingga mudah retak
4. Memerlukan banyak biaya untuk bekisting dan perancah (untuk beton cor di tempat)

2.2 Material Pembentuk Beton

Secara umum beton tersusun atas tiga bahan pembentuk yaitu semen, agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil), serta air untuk membantu proses kimiawi (hidrasi) dari semen dan bahan tambahan kimia (*admixture* atau *additive*) untuk membantu memudahkan dalam proses pencampuran beton segar (jika diperlukan).

2.2.1 Semen

Semen adalah zat yang digunakan untuk campuran beton mortar dan pasta semen, dimana semen yang biasa digunakan untuk beton adalah semen Portland. Dalam penggunaan semen pada campuran beton diperlukan air guna berlangsungnya reaksi kimiawi pada proses hidrasi. Pada proses hidrasi semen mengeras dan mengikat bahan susun beton sehingga membentuk massa padat (Diposhusodo, 1994).

Semen bersifat sebagai bahan perekat agregat agar terjadi suatu massa yang padat. Semen jika diaduk dengan air akan membentuk adukan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian di tambahkan pasir menjadi mortar dan jika ditambahkan lagi dengan kerikil disebut beton. Berat jenis semen berkisar $3,12 \text{ gr/cm}^3$ sampai $3,16 \text{ gr/cm}^3$ (Nawy, 1990).

Jenis-jenis semen menurut Standarisasi Nasional Indonesia (SNI) diuraikan sebagai berikut :

1. Semen Portland putih, SNI 15-0129-2004
2. *Portland Pozzolan Cement* (PPC), SNI 15-0302-2004
3. *Ordinary Portland Cement* (OPC), SNI 15-2049-2004
4. Semen Portland campur, SNI 15-3500-2004
5. Semen masonry, SNI 15-3758-2004
6. *Portland Composite Cement* (PCC), SNI 15-7064-2004

Berdasarkan ASTM 04.02 semen Portland / *Ordinary Portland Cement* (OPC) ada 5 tipe yang diuraikan sebagai berikut :

1. (Tipe I) Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis yang lain.
2. (Tipe II) Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. (Tipe III) Semen Portland yang dalam penggunaannya menurut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
4. (Tipe IV) Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah
5. (Tipe V) Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Kandungan kimia pada komposisi senyawa semen Portland adalah Trikalsium Silikat (C_3S), Dikalsium Silikat (C_2S), Trikalsium Aluminat (C_3A) dan Tetrakalsium Aluminoferrat (C_4AF) (Iman, 2014). Sedangkan kandungan kimia pada komposisi oksida semen Portland Tipe I yaitu kapur, silika, alumina, oksida besi, magnesia, oksida kalium, oksida natrium, oksida belerang, oksida karbon dan air (Mindess, dkk, 1981).

Semen jika dicampur dengan air akan terjadi reaksi kimia antara senyawa-senyawa dalam semen dan air yang disebut hidrasi semen. Reaksi ini akan menghasilkan senyawa kimia dimana terjadi daya tarik satu sama lain yang menyebabkan terjadinya ikatan dan pengerasan (Mindess dkk, 1981). Pada awal dari hidrasi hanya berlangsung reaksi kimia pada bagian sisi luar, masih ada partikel yang belum mengalami hidrasi. Dalam pasta yang mengeras, partikel ini terus menyerap air dari udara meskipun air dari pencampuran telah kering. Proses kimia yang berkelanjutan ini secara berangsur-angsur meningkatkan kekuatan dan kepadatan beton (Murdock, 1986).

Kecepatan reaksi hidrasi semen Portland akan bertambah besar dengan semakin halusnya ukuran partikel. Sebaliknya, jika ukuran partikel semakin kasar, reaksi hidrasi akan berjalan semakin lambat. Hal ini dapat dijelaskan bahwa, jika ukuran partikel semakin halus, berarti luas permukaan total

semakin besar. Bertambah luasnya permukaan menyebabkan kemungkinan terjadinya kontak antara air dengan permukaan butiran akan menjadi besar. Akibatnya kemungkinan terjadinya reaksi antara air dengan butiran juga menjadi lebih besar atau dengan perkataan lain, kecepatan reaksi bertambah. Mekanisme reaksi hidrasi senyawa utama semen Portland adalah sebagai senyawa kalsium silikat (C_3S dan C_2S) reaksi antara senyawa C_3S dan C_2S dengan air menghasilkan kalsium silikat hidrat, CSH, dan kalsium hidroksida, $Ca(OH)_2$. Perbedaan reaksi antara kedua senyawa tersebut dalam hal kecepatan dan panas reaksinya, kecepatan dan panas reaksi C_3S lebih besar dari pada C_2S . Panas reaksi C_2S yang ditimbulkan sekitar 500 J/gram, sedangkan panas reaksi C_3S yang ditimbulkan hasil dari reaksi antara senyawa C_3A dan air memperoleh panas sekitar 1350 J/gram (Iman, 2014).

2.2.2 Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirnya tertahan pada ayakan ukuran 1" (25 mm) sampai ayakan no 4 (4,75 mm). Agregat kasar biasa disebut kerikil atau batu pecah (Murdock dan Brook, 1986).

Pada mulanya kehadiran agregat kasar dalam beton bertujuan untuk memperoleh nilai ekonomis beton tersebut. Namun dengan berkembangnya teknologi bahan beton, mulai dipikirkan agregat kasar ini selain untuk bertujuan ekonomis sekaligus direkayasa sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi juga sebagai penguat (Hanafiah, 1996).

Agregat kasar mengisi hampir 75% dari total awal beton yang ada. Mutu beton yang tinggi dapat dicapai jika digunakan agregat kasar dari kualitas tinggi pula. Maka pemilihan jenis dan proporsi yang tepat dari agregat kasar dalam pembuatan beton perlu mendapatkan perhatian yang khusus agar dicapai mutu beton yang diinginkan. Beberapa hal lain yang harus mendapat perhatian adalah kandungan mineralnya, bentuk butir, bentuk permukaan, ukuran butir, keseragaman, permeabilitas dan gradasi agregat kasar (Mindess, dkk, 1981).

Syarat mutu agregat kasar menurut ASTM C33-04 dan SK SNI S-04-1989-F adalah :

1. Agregat kasar yang dipergunakan beton yang akan mengalami basah/lembab terus-menerus tidak boleh mengandung bahan yang bersifat

reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam beton.

2. Gradasi agregat kasar harus masuk dalam kurva gradasi continue, atau sesuai ASTM C33-04
3. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca. Sifat kekal bila diuji dengan larutan garam sulfat harus sama seperti pada agregat halus.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton seperti zat-zat yang reaktif alkali.
5. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering), jika melampaui harus dicuci.

2.2.3 Agregat halus

Agregat halus adalah agregat yang ukuran butirnya lolos dari ayakan no 4 (4,75 mm). Agregat halus tersebut berupa pasir atau sebagian hasil desintegrasi alam dari batuan atau hasil batuan yang dibuat untuk menggantikan fungsi agregat alam (Murdock dan Brook, 1986).

Kualitas agregat halus tergantung dari syarat-syarat yang ditentukan beton yang turut mempengaruhi kekuatan beton.

Syarat mutu agregat halus menurut ASTM C33-04 adalah :

1. Kadar lumpur atau bagian butir yang lebih kecil dari 75 mikron (lolos ayakan no 200) :
 - a) Untuk beton yang mengalami abrasi, maksimum 3% dari berat
 - b) Untuk jenis beton lainnya, maksimum 5% dari berat
2. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah direpihkan, maksimum 3% dari berat.
3. Kandungan arang dan *lignit* :
 - a) Bila tampak permukaan beton dipandang penting, maksimum 0,5% dari berat
 - b) Untuk beton jenis lainnya, maksimum 1% dari berat
4. Agregat harus bebas dari pengotoran zat organik yang merugikan beton. Bila diuji dengan larutan natrium sulfat dan dibandingkan dengan warna standar, tidak berwarna lebih tua dari warna standar.

5. Agregat halus yang dipergunakan untuk membuat beton yang mengalami basah dan lembab terus-menerus atau yang berhubungan dengan tanah, tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaian yang berlebihan di dalam beton.
6. Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
7. Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat :
 - a) Untuk natrium sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%
 - b) Untuk magnesium sulfat, bagian yang hancur maksimum 15%
8. Susunan besar butir (gradasi)

Agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos lebih dari 45% pada suatu ukuran ayakan dan tertahan pada ayakan berikutnya. Modulus kehalusan tidak kurang dari 2,3 atau tidak lebih dari 3,2. Untuk beton mutu tinggi, modulus kehalusan tidak begitu penting dalam penentuan volume agregat kasar per satuan volume, karena beton mutu tinggi menggunakan semen yang cukup banyak
9. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras
10. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

2.2.4 Air

Pada campuran beton air berfungsi untuk membantu berlangsungnya reaksi kimiawi dengan semen yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya proses pengerasan pada beton serta sebagai pelumas campuran beton agar muda dalam pengerjaannya (Nawy, 1990).

Penggunaan air pada campuran beton harus benar-benar bersih tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam, zat-zat yang mengapung, zat organik atau bahan-bahan lain yang bersifat merusak beton. Sebaiknya dipakai air tawar bersih yang dapat konsumsi oleh manusia (Diposhusodo, 1994).

Penggunaan air pada campuran beton harus memenuhi persyaratan berikut (Wahyudi dan Syahril, 1999) :

1. Air tidak mengandung unsur-unsur garam yang dapat merusak beton dan baja tulangan (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter
2. Tidak mengandung *Chloride* (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter
3. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter
4. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual
5. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi (benda-benda yang melayang) lebih dari 2 gram/liter
6. Selama air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya.

2.3 Bahan Tambahan

Bahan tambahan adalah bahan yang ditambah pada adukan beton sebelum atau selama pengadukan beton. Penambahan bahan tambah tersebut bertujuan untuk mengubah sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar agar membantu dalam proses pencampuran, mempercepat pengerasan beton, memperlambat pengerasan beton dan mengurangi jumlah air dalam campuran yang diperlukan (Tjokrodinuljo, 1996).

Beberapa fungsi penting dari penggunaan bahan tambahan pada campuran beton adalah (Ghambhir, 1995) :

1. Memperlambat ikatan awal beton
2. Menambah kecepatan ikatan awal beton yang berguna untuk menambah kecepatan kekuatan pada beton umur muda
3. Meningkatkan kekuatan beton
4. Menambah kelecakan (*workability*)
5. Meningkatkan keawetan beton

Bahan tambahan dapat diklasifikasikan atas bahan tambahan kimiawi dan bahan tambahan mineral. Bahan tambahan kimiawi ialah bahan kimia berupa bubuk atau cairan yang dicampur pada adukan beton selama proses pengadukan dalam jumlah tertentu dengan tujuan memperbaiki atau menambah sifat-sifat tertentu dari campuran beton (Rumbayan. R, 2002).

Secara umum ada 7 tipe (menurut ASTM C494 04) bahan tambahan kimia (*admixture*) yaitu :

- Tipe A : *Water Reducing Admixtures*, adalah bahan tambahan yang mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu.
- Tipe B : *Retarding Admixtures*, adalah bahan tambahan yang berfungsi untuk memperlambat pengikatan beton.
- Tipe C : *Accelerating Admixtures*, adalah bahan tambahan yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.
- Tipe D : *Water Reducing and Retarding Admixtures*, adalah bahan tambahan yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampuran dan menghemat pengikatan beton.
- Tipe E : *Water Reducing and Accelerating Admixtures*, adalah suatu bahan tambahan yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan beton
- Tipe F : *Water Reducing and High Range Admixtures*, adalah bahan tambahan yang mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu sebanyak 12% atau lebih.
- Tipe G : *Water Reducing, High Range and Retarding Admixtures*, adalah bahan tambahan yang mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu sebanyak 12% atau lebih dan juga menghemat pengikatan beton.

Superplasticizer merupakan suatu bahan tambahan kimiawi yang termasuk dalam tipe F ASTM C 494-04 yang disebut “*Water Reducing and High Range Admixture*”. Yang dapat mereduksi hingga 30% air dari volume yang normal dengan slump beton tetap tinggi (Ghosh. S. N, 1992).

Tujuan penggunaan SP dalam campuran beton segar adalah (Ghosh. S. N, 1992) :

1. Menghasilkan beton dengan slump lebih tinggi tanpa terjadi pemisahan butiran (segregasi) pada kadar tertentu sehingga meningkatkan kelecakan (workabilitas) beton
2. Penambahan SP dapat mengurangi air dengan tingkat kelecakan yang sama sehingga diperoleh beton dengan kekuatan yang tinggi.
3. Menghasilkan beton dengan jumlah semen yang lebih sedikit tanpa merubah ratio w/c yang ada.

Bahan tambahan mineral adalah bahan padat yang halus yang ditambahkan pada campuran beton untuk memperbaiki workabilitasnya, daya tahannya atau memperbaiki sifat-sifat tambahan pada semen (Mindess, dkk, 1981). Bahan tambahan mineral dapat disebut juga bahan pozzolan. Menurut ASTM C618-04 pozzolan adalah suatu campuran silika yang halus atau silika dengan bahan aluminium yang memiliki sedikit atau tanpa sifat semen, berada dalam bentuk bubuk dan dalam keadaan lembab akan bereaksi secara kimiawi dengan kalsium hidroksida atau kapur pada suhu biasa membentuk bahan yang memiliki sifat semen.

Bahan pozzolan dapat diklasifikasikan atas 3 kelas yaitu (Tjokrodinuljo, 1996) :

1. Kelas N, adalah hasil kalsinasi dari pozzolan alam misalnya tanah *diatomice, shale, tuff* dan batu apung
2. Kelas F, adalah abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis antrasit pada suhu 1560⁰C
3. Kelas C, adalah hasil pembakaran *ligmit* atau batu bara dengan kadar karbon sekitar 60%. Abu terbang ini mempunyai sifat seperti semen dengan kadar kapur diatas 10%.

Penggunaan pozzolan dapat dibagi atas 2 yaitu (Ghosh, 1992) :

1. Sebagai bahan tambahan pada campuran beton yang berkisar antara 15% sampai 25% dari berat semen.
2. Sebagai bahan pengganti sebagian fungsi semen dengan prosentase pemakaian antara 10% sampai 35%, tapi biasanya mendekati batas terendah.

2.3.1 Kaolin

Kaolin adalah massa batuan yang tersusun dari material lempung dengan kandungan besi yang rendah dan pada umumnya berwarna putih ataupun agak keputih-putihan (Departemen Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia, 1999).

Nama kaolin berasal dari Cina, “*kauling*” yang berarti pegunungan tinggi, yaitu gunung yang terletak dekat Jakhau Cina yang tanah lempungnya sudah dimanfaatkan dalam pembuatan keramik sejak berabad-abad lalu (Departemen Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia, 1999).

Dua proses geologi pembentukan kaolin yaitu proses pelapukan dan proses hidrotermal alterasi pada batuan beku, feldspatik dimana mineral-mineral potasaluminium silikat dari feldspar dirubah menjadi kaolin. Umumnya proses pelapukan tersebut terjadi pada permukaan atau sangat dekat dengan permukaan tanah, sebagian besar terjadi pada batuan beku. Endapan kaolin yang terjadi karena proses hidrotermal terdapat pada retakan atau pecahan di daerah permeabel lainnya (Departemen Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia, 1999).

Potensi kaolin terbesar di Propinsi Sulawesi Utara berada di Desa Toraget, Kecamatan Langowan, Kabupaten Minahasa. Hasil analisa kimia dari kaolin di desa Toraget kecamatan Langowan Kabupaten Minahasa Propinsi Sulawesi Utara diuraikan sebagai berikut (Departemen Perindustrian Propinsi Sulawesi Utara, 1984) :

SiO ₂	= 44,58 %
Al ₂ O ₃	= 39,16 %
Fe ₂ O ₃	= 0,21 %
CaO	= 0,18 %
MgO	= 0,32 %
K ₂ O	= 0,14 %
Na ₂ O	= 0,30 %
TiO ₂	= 0,09 %
SO ₃	= 0,14 %
Hilang pijar	= 9,35 %

Sifat fisik kaolin yaitu (Depertemen Perindustrian Propinsi Sulawesi Utara, 1984) :

1. Ukuran butir halus dan homogen
2. Sedikit plastis
3. Berat jenis $2,778 \text{ gr/cm}^3$
4. Tahan api dengan titik lebur 1700^0 sampai 1785^0C
5. Karena kemurniannya, kaolin pada waktu pembakaran menunjukkan tingkatan padat dan susut yang berangsur-angsur.

Melihat sifat kimia sampel kaolin dari Desa Toraget Langowan menunjukkan kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 , maka menurut spesifikasi ASTM C 618-04, kaolin tersebut termasuk dalam pozzolan kelas N, karena kaolin tersebut memenuhi syarat-syarat kimia seperti hasil analisa kimia yang diuraikan di atas, untuk dapat digunakan sebagai bahan tambahan pada beton yang menggunakan semen Portland.

Pengaruh penggunaan material kaolin (mineral pozzolan) pada campuran beton antara lain (Djokrodumuljo, 1999) :

1. Mengurangi jumlah pemakaian semen
2. Menghambat/mereduksi reaksi agregat-alkali pada beton.
Reaksi agregat alkali merupakan reaksi antara kandungan alkali aktif dalam agregat-agregat tertentu dan alkali yang dihasilkan pada proses hidrasi semen
3. Mereduksi pemuaihan dan retakan yang diakibatkan oleh reaksi agregat alkali
4. Menjadikan beton lebih mudah diaduk, lebih rapat air dan lebih tahan terhadap serangan kimia.
5. Mengurangi panas hidrasi, dimana panas hidrasi dapat menyebabkan retakan yang serius.

Dengan menambahkan kaolin pada campuran beton selain berfungsi sebagai bahan pengisi pori, silika (SiO_2) dalam kaolin akan bereaksi dengan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang di hasilkan dari reaksi hidrasi semen sehingga terbentuk ikatan berbentuk gel / kalsium silika hidrat ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) yang memperkuat ikatan dalam beton. Serta butiran butiran halus kaolin secara tidak

langsung dapat berfungsi sebagai bahan pengisi pori sehingga dengan berkurangnya jumlah pori akan didapat beton yang padat (RMC Group, 1996)

2.4 Karakteristik Beton

Karakteristik beton adalah sifat-sifat dari beton itu sendiri yang diperoleh dari pengujian laboratorium, contohnya pengujian kuat tekan, absorpsi, porositas, berat volume, kuat tarik, kadar udara beton dan pengujian-pengujian lainnya yang sudah diakui oleh Standar Internasional yang membuktikan karakteristik dari suatu beton.

2.4.1 Kuat tekan beton

Nilai dari kuat tekan beton adalah hasil dari rata-rata pengujian standar menggunakan mesin uji tekan dengan cara memberikan beban tekanan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder atau kubus sampai sampel beton yang ada dalam mesin tersebut hancur. Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar ASTM C39-04. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f_c') yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan yang dinyatakan dengan satuan N/mm^2 (Diposhusodo, 1994).

Nilai uji tekan yang diperoleh dari setiap benda uji akan sering berbeda cukup jauh karena beton merupakan heterogen, yang kekuatannya di pengaruhi oleh proporsi campuran, bentuk dan ukuran, kecepatan pembebanan serta kondisi pada saat pengujian (Diposhusodo, 1994). Pengaturan komposisi material pembentuk beton, perbandingan air semen dan kepadatan, umur beton, jenis dan jumlah semen, serta sifat agregat merupakan faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton (Tjokrodinuljo, 1996).

Kuat tekan ditentukan dengan uji hancur yang dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder (ASTM C 39-04) atau kubus dan dihitung dengan rumus :

$$f_c' = P/A \quad (1)$$

dimana : f_c' = kuat tekan beton (MPa)

P = Beban runtuh (Newton)

A = Luas bidang tekan (mm^2)

Kekuatan tekan beton menurut standar ACI dinyatakan pada tegangan tekan yang dicapai pada beton yang berumur 28 hari (f'_c_{28}) pada pengujian tekan benda uji beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Hal ini disebabkan karena peningkatan kekuatan beton setelah umur tersebut relatif kecil dibandingkan dengan evolusinya pada umur sebelum 28 hari (ACI 211.4R-93).

Hasil kuat tekan yang diperoleh dari pengujian harus berada di atas kekuatan tertentu, atau kekuatan tekan minimum yang digunakan pada perencanaan struktur aktual atau bisa disebut kekuatan tekan spesifik (f'_c) (Rumbayan. R, 2002).

Kekuatan tekan dari campuran percobaan yang direncanakan bukanlah kekuatan yang dispesifikasikan oleh perencana. Campuran ini harus berkekuatan lebih untuk menjamin kekuatan struktur aktualnya, yaitu beton yang mempunyai kekuatan tekan minimum yang dispesifikasikan. Kekuatan yang sebenarnya dilapangan sangat dipengaruhi oleh prosedur pemeriksaan mutu untuk pengecoran dan pengawasan (Rumbayan. R, 2002).

2.2.2 Berat volume beton

Berat volume beton adalah perbandingan antara berat beton terhadap volumenya. Klasifikasi beton dan agregat berdasarkan berat volume beton dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Klasifikasi beton dan agregat berdasarkan berat volume beton

Jenis beton	Berat volume agregat kering oven (kg/m^3)	Berat volume beton (kg/m^3)
Beton ultra tinggi	< 500	300 - 1100
Beton ringan	500 - 800	1100 - 1600
Beton ringan struktural	650 - 1100	1450 - 1900
Beton berbobot normal	1100 - 1750	2100 - 2550
Beton berbobot berat	> 2100	2900 - 6100

Sumber : (Mindess, dkk, "Concrete", 1986)

Berat volume beton dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat volume beton} = W/V \quad (2)$$

dimana : W = Berat benda uji (kg)

V = Volume benda uji (m^3)

2.2.3 Absorpsi beton

Absorpsi merupakan banyaknya air yang diserap oleh beton. Besar kecilnya penyerapan air oleh beton sangat dipengaruhi oleh pori atau rongga yang terdapat pada beton. Rongga yang terdapat pada beton terjadi karena kurang tepatnya kualitas dan komposisi material penyusunnya. Semakin banyak rongga yang terkandung dalam beton maka akan semakin besar pula penyerapan sehingga ketahanannya akan berkurang.

Salah satu sifat beton mutu tinggi adalah kedap terhadap air. Untuk mengetahui beton kedap terhadap air ialah dengan cara memeriksa nilai absorpsi beton. Berdasarkan ASTM C 1585 – 04, rumus yang digunakan untuk mencari nilai absorpsi beton bisa dilihat pada persamaan (3).

$$I = (M_t / (a \times d)) \quad (3)$$

Dimana : I = Absorpsi (mm)

M_t = Perubahan berat pada setiap tahapan waktu (gr)

a = Area yang terkena air (mm^2)

d = Berat jenis air (gr/mm^3)

2.2.4 Persamaan regresi linier

Dalam menganalisa nilai absorpsi beton untuk semua tahapan waktu yang telah diuji di laboratorium, digunakan persamaan regresi linier. Persamaan regresi linier adalah metode statistik yang berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara variabel penyebab (X) terhadap variabel akibatnya (Y).

Dalam persamaan regresi linier terdapat koefisien korelasi (R). koefesien korelasi ialah pengukuran statistik kovarian atau asosiasi antara dua variabel, yang besarnya berkisar antara -1 sampai +1. Koefesien korelasi menunjukkan kekuatan hubungan linear dan arah hubungan dua variabel acak. Apabila koefisien korelasi positif, maka kedua variabel mempunyai hubungan searah, artinya jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan tinggi pula. Dan apabila koefisien korelasi negatif, maka kedua variabel mempunyai hubungan terbalik, artinya jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan menjadi rendah dan sebaliknya jika nilai variabel X rendah, nilai variabel Y akan menjadi tinggi (Sarwono, 2006).

Nilai -1 artinya terdapat korelasi negatif yang sempurna, nilai 0 artinya tidak ada korelasi dan nilai 1 berarti ada korelasi positif yang sempurna. Dapat disimpulkan bahwa apabila semakin mendekati nilai 1 atau -1 maka hubungan makin erat, sedangkan jika semakin mendekati 0 maka hubungan semakin lemah (Sarwono, 2006). Agar lebih memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel tersebut, maka kriteria-kriterianya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. klasifikasi nilai R (koefisien korelasi)

Interfal Koefisien	Tingkatan Hubungan
0	Tidak ada korelasi antara dua fariabel
>0 sampai 0,25	Korelasi sangat lemah
>0,25 sampai 0,50	Korelasi cukup
>0,50 sampai 0,75	Korelasi kuat
>0,75 sampai 0,99	Korelasi sangat kuat
1	Korelasi sempurna

Sumber : (Sarwono, 2006)

Dalam persamaan regresi linier juga terdapat koefisien determinasi (R^2). Koefisien determinasi adalah hasil pengkuadratan koefisien korelasi (R), yang mempunyai nilai berkisar antara 0 sampai 1. Koefisien determinasi merupakan rasio variabilitas nilai-nilai yang dibuat model dengan variabilitas nilai data asli. Secara umum R^2 digunakan sebagai informasi mengenai kecocokan suatu model. Dalam regresi R^2 ini dijadikan sebagai pengukuran seberapa baik garis regresi mendekati nilai data asli yang dibuat model.

Dengan demikian, jika nilai $R^2=1$ akan mempunyai arti bahwa model yang sesuai menerangkan semua variabilitas dalam variabel Y. Sedangkan jika nilai $R^2=0$ akan mempunyai arti bahwa tidak ada hubungan antara variabel X dengan variabel Y. Dalam kasus misalnya jika nilai $R^2=0,8$ mempunyai arti bahwa sebesar 80% variasi dari variabel Y dapat diterangkan dengan variabel X, sedangkan sisanya 0,2 (20%) dipengaruhi oleh variabel-variabel yang tidak diketahui atau tidak bisa diterangkan oleh variabel X. Maka dapat disimpulkan, pengaruh variabel X terhadap variabel Y adalah sebesar 80%, sedangkan sisanya 20% dipengaruhi oleh faktor lain (Sarwono, 2006).

Rumus persamaan regresi linier dapat dilihat pada persamaan (4).

$$Y = bX + a \quad (4)$$

Dimana : Y = Variabel response atau variabel akibat (dependent)

X = Variabel Predictor atau Variabel Faktor Penyebab (independent)

a = Konstanta

b = Koefisien regresi (kemiringan) atau besaran response yang ditimbulkan oleh predictor.

Untuk memperoleh nilai a, b, R dan R^2 dapat dilihat pada persamaan (5), persamaan (6), persamaan (7) dan persamaan (8).

$$a = \frac{(\sum y) (\sum x^2) - (\sum x) (\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (5)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x) (\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (6)$$

$$R = \frac{n(\sum xy) - (\sum x) (\sum y)}{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)^{1/2} \times (n(\sum y^2) - (\sum y)^2)^{1/2}} \quad (7)$$

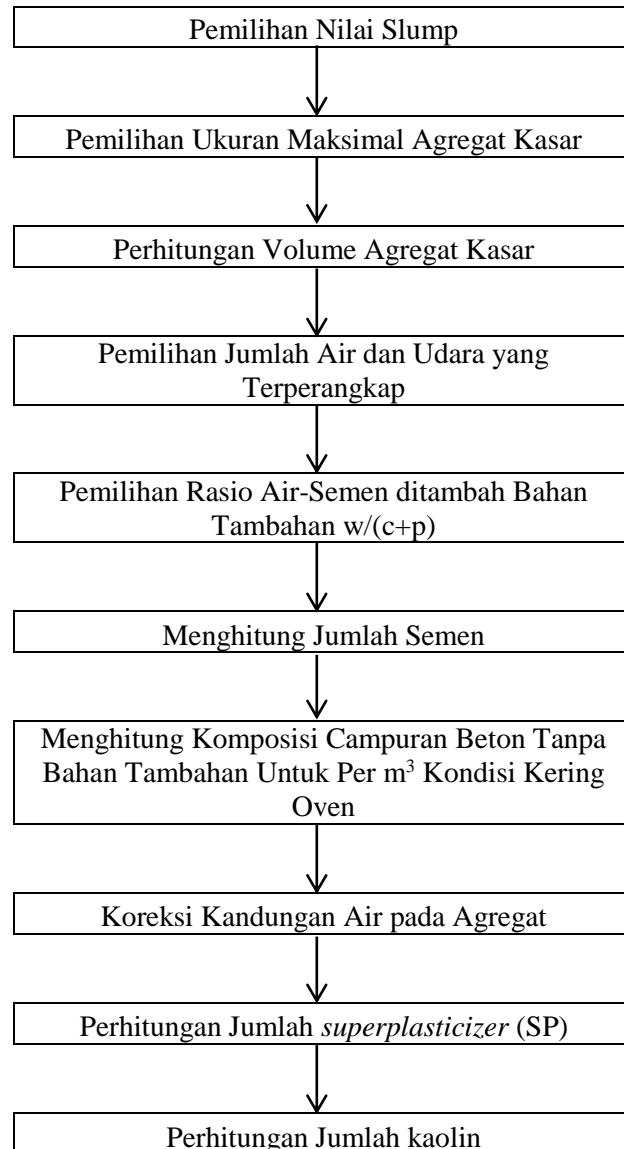
$$R^2 = R \times R \quad (8)$$

- Dimana :
- x = Tahapan waktu perendaman ($\text{det}^{0.5}$)
 - y = Penyerapan (mm)
 - xy = Tahapan waktu perendaman dikalikan penyerapan
 - $\sum x$ = Jumlah tahapan waktu perendaman
 - $\sum y$ = Jumlah penyerapan
 - $\sum xy$ = Jumlah tahapan waktu perendaman dikalikan penyerapan
 - n = Banyaknya tahapan waktu perendaman

2.5 Perencanaan Komposisi Campuran Beton Metode ACI 211.4R-93

Definisi umum rencana campuran adalah suatu perencanaan campuran beton berdasarkan standar yang berlaku termasuk di dalamnya pemilihan bahan dasar, penentuan komposisi bahan yang digunakan dan pemilihan nilai kuat tekan dari beton yang akan dihasilkan. Perencanaan komposisi campuran beton metode ini berdasarkan "*Guide for Selecting Proportions for High – Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*" yang kemudian dimodifikasi (*Fly Ash* digantikan dengan kaolin). metode ACI yang menggunakan bahan pozzolan hanyalah metode ini, itulah sebabnya metode ini pilih dalam merencanakan komposisi campuran beton dalam penelitian ini.

Langkah-langkah mendesain campuran beton dengan menggunakan metode ACI 211.4R-93 yang telah dimodifikasi bahan pozzolannya, dapat di lihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram tahapan perencanaan komposisi campuran

Perencanaan komposisi campuran beton dengan menggunakan metode ACI 211.4R-93 diuraikan sebagai berikut. :

1. Pemilihan nilai Slump

Nilai yang dianjurkan dari Slump beton seperti pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Slump untuk beton dengan dan tanpa HRWR (*High Range Water Reducing*)

Beton dengan menggunakan HRWR	
Slump sebelum penambahan HRWR	25 mm - 50 mm
Beton Tanpa HRWR	
Slump	50 mm - 100 mm

Sumber : ACI 211.4R-93

Slump awal dimulai dari 25 mm sampai 50 mm sebelum penambahan HRWR seperti *superplasticizer*. Hal ini menjamin air campuran yang cukup supaya *superplasticizer* efektif. Dengan penambahan *superplasticizer*, nilai Slump dari beton akan bertambah besar dan dapat mengurangi jumlah kebutuhan air pada campuran beton. Untuk beton tanpa HRWR diharapkan mempunyai nilai Slump minimal 50 mm untuk kemudahan pekerjaan.

2. Pemilihan ukuran maksimum agregat kasar

Penggunaan agregat dengan gradasi yang baik dan ukuran maksimum yang besar akan menghasilkan rongga yang lebih sedikit dari pada penggunaan agregat dengan ukuran maksimum yang lebih kecil. Hal ini menyebabkan penurunan kebutuhan mortar dalam setiap satuan volume beton. Dasar pemilihan ukuran umumnya berkaitan dengan dimensi struktur. Menurut ACI 318 syarat maksimum ukuran agregat kasar seperti pada persamaan berikut :

$$a \leq \frac{h}{5} \quad (9)$$

$$a \leq \frac{t}{3} \quad (10)$$

$$a \leq \frac{3}{4}c \quad (11)$$

dimana : a = Ukuran maksimum agregat

h = Lebar terkecil diantara dua tepi bekisting

t = Tepi pelat lantai

c = Jarak bersih antar tulangan

Untuk beton mutu tinggi disarankan penggunaan ukuran maksimum agregat seperti pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Ukuran maksimum agregat kasar

Kuat Tekan Beton (Mpa)	Ukuran maksimum agregat kasar (mm)
< 62	19 - 25
> 62	9,5 - 12,5

Sumber : ACI 211.4R-93

3. Perhitungan volume agregat kasar

Dari ukuran maksimum agregat kasar dan modulus kehalusan agregat halus didapat volume agregat kasar per satuan volume beton untuk kondisi kering. Untuk beton bermutu tinggi modulus kehalusan tidak begitu penting dalam penentuan volume agregat kasar per satuan volume, karena beton mutu tinggi menggunakan semen yang cukup banyak.

Tabel 2.5. Volume agregat kasar per satuan volume beton untuk agregat halus dengan modulus kehalusan 2,5 sampai 3,2

Ukuran maksimum agregat kasar (mm)	Volume agregat kasar kondisi kering padat
9,5	0,65
12,5	0,68
19	0,72
25	0,75

Sumber : ACI 211.4R-93

Berat agregat kasar kering (oven dry) = volume agregat kasar dikalikan berat volume kering agregat kasar.

4. Pemilihan jumlah air dan udara terperangkap

Jumlah air tiap satuan volume beton tergantung dari ukuran maksimum agregat, bentuk partikel, kualitas semen dan tipe HRWR.

Tabel 2.6. Perkiraan jumlah air dan udara terperangkap dengan kadar udara pasir 35%

Slump (mm)	Campuran air (kg/m ³)			
	Ukuran agregat kasar maksimum (mm)			
	9,5	12,5	19	25
25 - 50	184	175	169	166
50 - 75	190	184	175	172
75 - 100	196	190	181	178
udara (%)	3	2,5	2	1,5
udara* (%)	2,5	2,0	1,5	1,0

*Dengan menggunakan HRWR

Dari tabel 2.5 diperoleh jumlah air yang dibutuhkan untuk pasir dengan kadar udara 35%, sehingga *void* agregat halus adalah :

$$V = \left[1 - \frac{\text{berat volume kering oven agregat halus}}{\text{Bulk Specifying Gravity (dry)}} \right] \times 100\% \quad (12)$$

$$\text{Penambahan jumlah air} = (V - 35) \times 4,75 \text{ kg/m}^3 \quad (13)$$

Jumlah air yang dibutuhkan adalah jumlah air pada tabel 2.5 ditambahkan dengan penambahan jumlah air.

5. Pemilihan rasio air semen ditambahkan bahan tambahan W/(c+p)

Rasio air semen merupakan fungsi dari kekuatan beton dan ukuran maksimum agregat kasar yang dapat dilihat pada tabel 2.7 dan tabel 2.8.

Perhitungan tekan rata-rata adalah :

$$f'_{cr} = f'_c + 10 \text{ MPa} \quad (14)$$

dimana : f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata

f'_c = Kuat tekan rencana

Tabel 2.7. Rasio W/(c+p) untuk beton tanpa HRWR

Kuat tekan rata - rata $f'c$ (Mpa)		w/(c+p)			
		Ukuran maksimum agregat kasar (mm)			
		9,5	12,5	19	25
48	28 hari	0,42	0,41	0,40	0,39
	56 hari	0,46	0,45	0,44	0,43
55	28 hari	0,35	0,34	0,33	0,33
	56 hari	0,38	0,37	0,36	0,35
62	28 hari	0,30	0,29	0,29	0,28
	56 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
69	28 hari	0,26	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,29	0,28	0,27	0,26

Sumber : ACI 211.4R-93

Tabel 2.8. Rasio W/(c+p) untuk beton dengan HRWR

Kuat tekan rata - rata $f'c$ (Mpa)		w/(c+p)			
		Ukuran maksimum agregat kasar (mm)			
		9,5	12,5	19	25
48	28 hari	0,50	0,48	0,45	0,39
	56 hari	0,55	0,52	0,48	0,43
55	28 hari	0,44	0,42	0,40	0,33
	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,35
62	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,28
	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,30
69	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,25
	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
76	28 hari	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 hari	0,33	0,31	0,29	0,29
83	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,30	0,28	0,27	0,26

Sumber : ACI 211.4R-93

6. Menghitung jumlah semen

Jumlah semen adalah jumlah air dibagi rasio air semen.

7. Menghitung komposisi campuran beton tanpa bahan tambahan untuk per m³ kondisi kering oven.

Menghitung volume agregat halus dengan cara volume absolut yakni 1 dikurangi volume total semen, air, udara dan agregat kasar. Berat agregat

halus adalah volume agregat halus dikalikan berat jenis kering agregat halus.

8. Koreksi kandungan air pada agregat

Perhitungan sampai pada langkah ke-7 didapat agregat untuk kondisi kering (oven *dry*). Pada umumnya di lapangan agregat tidak dalam kondisi oven *dry* sehingga perlu dikoreksi.

Koreksi jumlah air sesuai kondisi lapangan :

- a) Tambahan air untuk agregat kasar adalah absorpsi agregat kasar dikurangi kadar airnya dikalikan dengan berat agregat kasar kondisi kering oven.
- b) Tambahan air untuk agregat halus adalah absorpsi agregat halus dikurangi kadar airnya dikalikan dengan berat agregat halus kondisi kering oven.

Koreksi agregat kondisi lapangan :

- a) Agregat kasar kondisi lapangan adalah $(1 + \text{kadar air})$ dikalikan berat agregat kasar kering oven.
- b) Agregat halus kondisi lapangan adalah $(1 + \text{kadar air})$ dikalikan berat agregat halus kering oven.

9. Perhitungan *superplasticizer* (SP)

Prosentase SP tergantung dari merek dan jenis yang direkomendasikan. Banyaknya SP sama dengan prosentase SP dikalikan berat *cementitious* (berat semen + berat pozzolan), kemudian dibagi berat jenis SP jika ingin mencari volume SP. Jumlah air harus dikurangi jumlah SP. Jumlah air dan SP sangat tergantung pada kondisi saat pengecoran beton.

10. Perhitungan jumlah kaolin

a. Prosentase kaolin

Prosentase pemakaian harus sesuai dengan rekomendasi pabrik dan standar ASTM.

b. Berat kaolin

Berat kaolin adalah prosentase pemakaian kaolin dikalikan berat total bahan semen pada langka ke-6

c. Volume kaolin

Karena perbedaan berat jenis antara semen dan kaolin maka volume material semen per m^3 dapat bervariasi dengan jumlah kaolin.

$$\text{Volume kaolin} = \text{berat kaolin} / \text{berat jenis kaolin} \quad (15)$$

d. Jumlah pasir

Setelah mendapatkan volume masing-masing material, jumlah pasir pada setiap campuran dapat dihitung dengan menggunakan metode volume absolut.

$$V \text{ pasir} = 1 - \text{volume total beton (semen + agregat kasar + kaolin + air + udara)}. \quad (16)$$

Dengan pemakaian kaolin menyebabkan jumlah semen dan pasir berkurang.