

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 PENGERTIAN UMUM BETON

Beton adalah suatu campuran antara pasta dengan agregat (halus dan kasar). Pasta ini terbuat dari campuran antara semen dengan air¹. Campuran beton yang kompak sebenarnya dapat diperoleh dengan mendominasi sebagian besar volumenya dengan agregat kasar yang besar, dan agregat kasar yang kecil mengisi sela-sela diantara agregat besar, kemudian sela-sela agregat kecil diisi oleh agregat halus dan ruang kosong diantaranya diisi oleh campuran semen dan air.

Beton sangat baik untuk menahan beban tekan struktur, tetapi beton hampir tidak mempunyai kekuatan tarik, (hanya berkisar antara 10 – 15% dari kekuatan tekannya). Pada kondisi tarik, beton pada umumnya menunjukkan sifat yang hampir linier, sampai kehancuran yang hebat setelah mencapai batas kuat tariknya.

Reaksi hidrasi antara semen dan air akan merubah campuran beton yang bersifat plastis menjadi solid dalam jangka waktu dua jam. Kekuatan beton akan terus bertambah pada saat *curing*. Hasil tes kekuatan beton berumur 28 hari disebut dengan kuat tekan beton (f_c').

Karakteristik beton yang baik dapat ditinjau dari kepadatan, kekuatan, faktor air semen, dan tekstur. Berikut adalah parameter-parameter yang mempengaruhi kualitas beton :

1. Kualitas semen.
2. Proporsi semen terhadap air dalam campurannya.
3. Kekuatan dan kebersihan agregat.
4. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dan agregat.
5. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton.
6. Penempatan yang benar, penyelesaian dan kompaksi beton segar.
7. Perawatan pada temperatur yang tidak lebih rendah dari 50°F pada saat beton hendak mencapai kekuatannya.

¹ *Concrete Basic*, Portland Cement Association, 2006.

II.2 KARAKTERISTIK BETON

II.2.1 *Workability*

Segala aspek yang berhubungan dengan beton segar yang berhubungan dengan peranan, dari pada saat pemilihan material penyusun hingga sampai *finishing* disebut dengan *workability*.

Workability beton dapat didefinisikan sebagai cara mudah dimana beton dapat dipindahkan dari *mixer* hingga struktur yang akan dibebankan kepada campuran beton tersebut. *Workability* ini merepresentasikan sebagai kemampuan beton untuk dicampur, dipindahkan, dan sebagainya dengan kehilangan sifat homogenitasnya (menyatunya campuran semua material yang menyusun beton tersebut) secara minimum.

Workability biasa dibagi menjadi tiga karakteristik independen yang umum digunakan, yaitu:

- *Consistency*, *workability* tergantung dari komposisi penyusun beton segar tersebut, karakter fisik dari campuran semen dan agregat
- *Mobility*, peralatan untuk pencampuran (*mixing*), perpindahan tempat (*transporting*) dan pemadatan (*compacting*); ukuran dan jarak dari perkerasan beton
- *Compactibility*, besar serta bentuk dari struktur yang menjadi beban. Untuk kemudahan pekerjaan (*workability*) yang baik maka diperlukan porsi semen yang tinggi, jumlah material bermutu yang cukup, sedikitnya agregat bertipe *coarse*, dan jumlah air yang tinggi. Komposisi partikel yang seimbang sangat dibutuhkan untuk mendapatkan sifat plastis dalam campuran beton.

Workability biasanya tidak dipengaruhi oleh banyaknya campuran semen dalam suatu campuran beton namun *workability* ini sangat dipengaruhi oleh banyaknya air yang terkandung dalam campuran beton tersebut. Tingkat *workability* akan menurun apabila penambahan semen dalam campuran beton tidak diiringi dengan penambahan air yang cukup. Penambahan campuran tambahan seperti *superplasticizers* akan meningkatkan tingkat *workability*.

Workability suatu beton sangat tergantung dari jenis agregat yang terkandung di dalam campuran beton. Semakin banyak kuantitas agregat jenis *coarse* pada suatu campuran beton, maka akan semakin rendah tingkat *workability* suatu beton. Namun keberadaan *coarse* dalam suatu campuran beton sangat dibutuhkan untuk menutupi area beton yang kosong demi menahan beban besar.

Workability juga dipengaruhi oleh tingkat hidrasi suatu beton melalui penguapan. Semakin tingginya temperatur maka akan semakin cepatnya penguapan yang terjadi pada adonan beton.

II.2.2 Consistency and Slump

Consistency merupakan tolak ukur dari sifat kebasahan pada beton (*fluidity*). Konsistensi ini sangat bergantung pada proporsi dan sifat-sifat dari campuran beton. Hal-hal tersebut di atas merupakan komponen penting dari *workability*. Konsistensi biasanya diukur dengan metode *Slump Test*. Hasil dari *slump test* ini juga digunakan untuk mengukur tingkat *workability* walaupun sebenarnya yang diukur disini hanyalah satu macam sifat yaitu konsistensi.

Percobaan ini menggunakan alat yang bernama *slump cone* dengan diameter dasar 250 mm dan ujung atas dengan diameter 100 mm. Tinggi dari cone yang digunakan adalah 300 mm. *Cone* (kerucut) yang kita gunakan pertama-tama bagian dalamnya dibasahkan, ini bertujuan untuk mencegah lengketnya adonan beton dengan kerucut. Lalu kerucut tersebut diletakkan di atas dasar atau lantai yang halus; dengan tingkat kemampuan menyerap air yang rendah. Lalu sementara kerucut diletakkan, *tester* menahan kerucut tersebut dengan beban. Kerucut yang digunakan tersebut diisi dengan 3 lapis (*layer*) beton yang masing-masing bervolume $\frac{1}{3}$ dari volume kerucut dengan ditusuk-tusuk 25 kali. Setelah kita berhasil mengisi kerucut tersebut maka selanjutnya kita membalikkan kerucut tersebut ke atas tanah. Segera setelah itu kerucut diangkat secara vertikal untuk mengetahui sifat atau bentuk *slump* yang terjadi.

Berikut adalah penjelasan mengenai berbagai macam *slump*:

➤ *Near-zero Slump*

Near-zero slump merupakan campuran beton yang sangat kering dengan komposisi air yang sangat sedikit. Dalam hal ini *slump* yang terjadi sangat sedikit dan tinggi. *Slump* jenis ini sangat mudah menyerap air. Dengan menambah sedikit agregat dan air pada campuran air maka akan menambah tingkat konsistensi beton.

➤ *Normal Slump*

Normal Slump merupakan jenis *slump* yang paling stabil karena semua campuran partikel penyusunnya paling seimbang.

Slump jenis ini merupakan *slump* yang dianjurkan karena daya serapnya kecil namun tidak terlalu encer sehingga kestabilan beton dapat terjamin.

➤ *Shear Slump*

Shear Slump merupakan jenis *slump* yang komposisi airnya terlalu banyak sehingga kestabilan beton tidak dapat terjamin.

➤ *Collapse Slump*

Slump ini merupakan jenis *slump* yang sangat buruk karena komposisi airnya sangat banyak dan jauh melebihi dari komposisi agregat penyusunnya sehingga tingkat konsistensinya sangat rendah.

II.2.3 *Mixing, Placing, and Curing*

a. *Mixing*

Tujuan dari pencampuran atau *mixing* dari bahan penyusun adalah untuk memastikan bahwa setiap partikel pencampur beton akan terbungkus oleh semen secara merata. Tahap awal dari *mixing* adalah *batching*, tahap dimana material penyusun beton ditimbang dan diukur untuk memastikan bahwa tiap partikel penyusun beton berkompposisi secara tepat.

Beton dapat dicampur dengan tangan atau dengan mesin. Pertama-tama pasir dan agregat kasar dicampur dalam mesin aduk. Setelah merata, pada campuran itu kita tambahkan semen dan air sesuai ukuran. Kemudian diaduk-aduk sehingga membentuk campuran yang merata.

b. *Placing*

Placing untuk beton segar harus ditempatkan ke dalam suatu wadah segera setelah pencampuran selesai. Bentuk-bentuk dan bahan wadah yang digunakan untuk *placing* adalah *Plywood and steel frame, all aluminium, plywood attached to steel hardware, all plywood, all steel, fiberglass*, dan *wood / lumber*. Wadah harus cukup kuat untuk menahan berat dari beton segar dan beban dari tukang konstruksi serta mesin-mesin yang lain.

c. *Curing*

Curing adalah suatu proses untuk menjaga tingkat kelembaban dan temperatur ideal untuk mencegah hidrasi yang berlebihan serta menjaga agar hidrasi terjadi secara berkelanjutan. Biasanya lingkungan sekitar beton yang baru dicampur diusahakan agar tetap lembap.

Curing bertujuan untuk mencegah penguapan yang berlebihan oleh beton tersebut, dengan membuat keadaan lingkungan yang lembab lebih memudahkan proses *curing*.

Ada beberapa metode dalam *curing*, yang dibagi dalam 3 bagian:

- Metode yang menjaga tingkat komposisi air, membiarkan adonan hasil campuran di dalam satu lapisan air. Seperti *ponding*, *fog spraying* atau *sprinkling*.
- Metode yang mencegah hilangnya air dalam campuran beton, melibatkan teknik dan material tambahan untuk mencegah penguapan dari air yang telah tercampur.
- Metode yang mempercepat hidrasi dengan memberikan tambahan panas dan pelembab, melibatkan tambahan panas dan air untuk mempercepat proses hidrasi.

Curing dapat dicapai dengan menggunakan 4 material, diantaranya air, *mats* / selimut, kertas anti air atau bungkus plastik, dan membran cair / *forming compound*.

II.2.4 Susut beton

Pada waktu proses hidrasi berlangsung, beton melepaskan panas dan air, dapat diamati dengan naiknya suhu beton tersebut, yang menyebabkan terjadinya susut (*shrinkage*). Susut dapat menyebabkan retak bila tidak dikendalikan dengan baik.

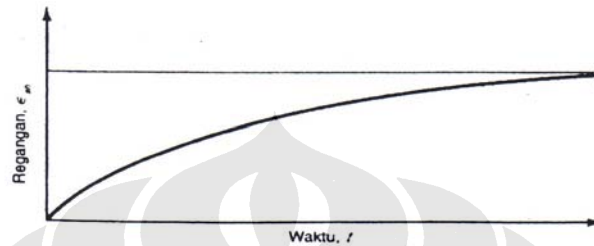
Definisi susut (*shrinkage*) adalah sifat beton yang berupa mengecilnya volume beton akibat berkurangnya kandungan air. Akan sangat berpengaruh pada beton masal (volume besar). Saat semen berada pada kondisi plastis, terjadi kontraksi penyusutan volumetrik yang mana skalanya sekitar 1% lebih besar dari volume kering semen sebenarnya. Kontraksi ini dikenal sebagai *plastic shrinkage*, karena proses ini terjadi pada saat beton masih berada pada fase plastis². Fenomena *drying shrinkage* pada beton dimulai sesegera mungkin saat beton ditempatkan. Perubahan volume, secara langsung mempengaruhi tegangan tarik yang dapat menyebabkan retak³.

Terdapat dua jenis susut pada beton yaitu susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis terjadi selama beberapa jam pertama setelah pengecoran segar di cetakan. Permukaan yang diekspos seperti slab lantai akan lebih dipengaruhi oleh udara kering karena besarnya permukaan kontak. Pada kasus seperti itu, kandungan air akan menguap lebih cepat dari permukaan beton

² Properties Of Concrete., A.M Neville, 1981, hal. 8

³ Designing for Creep and Shrinkage in Concrete Structures, American Concrete Institute, 1982 Hal.36

dibandingkan dengan air yang mengalir dari lapisan-lapisan bawah elemen beton. Sedangkan, susut pengeringan terjadi setelah beton mengering dan sebagian besar proses hidrasi kimiawi di pasta semen telah terjadi. Susut pengeringan adalah berkurangnya volume elemen beton apabila terjadi kehilangan kandungan air akibat penguapan. Pada gambar di bawah dapat dilihat hubungan peningkatan regangan susut ϵ_{sh} terhadap waktu.



Gambar 2.1 Hubungan Peningkatan Regangan Susut Terhadap Waktu ^[5]

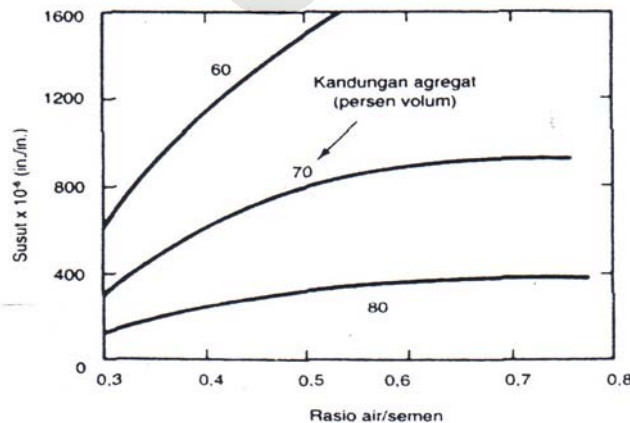
Faktor utama yang menentukan besarnya susut adalah kandungan air dalam adukan beton, sedang faktor-faktor lain yang mempengaruhi besarnya susut pengeringan (Nawy, Edward.G.,1990) adalah :

1. Agregat

Beton dengan kandungan agregat yang lebih banyak maka susut yang terjadi lebih sedikit. Beton dengan modulus elastisitas tinggi atau dengan permukaan kasar lebih dapat menahan proses susut.

2. Rasio air/semen

Semakin tinggi rasio air/semen, semakin besar susut yang terjadi. Pada gambar di bawah dapat dilihat hubungan antara kandungan agregat dan rasio air/semen terhadap susut.



Gambar 2.2 Hubungan Kandungan Agregat dan Rasio Air/Semen Terhadap Susut ^[5]

3. Ukuran elemen beton
Durasi susut akan lebih lama untuk komponen struktur yang lebih besar karena lebih banyak waktu yang dibutuhkan dalam pengeringan untuk mencapai daerah dalam.
4. Kondisi kelembaban di sekitar
Kelembaban relatif pada lingkungan sekitar sangat mempengaruhi besarnya susut, laju penyusutan lebih kecil pada kelembaban relatif yang lebih tinggi. Temperatur lingkungan juga merupakan faktor. Itu sebabnya susut menjadi stabil pada temperatur rendah.
5. Banyaknya tulangan
Beton bertulang menyusut lebih sedikit dibandingkan dengan beton polos.
6. Jenis semen
Semen yang cepat mengering akan mengalami susut lebih banyak dibandingkan jenis-jenis lainnya. Pengaruh kuantitas semen terhadap susut beton adalah mengenai jumlah air yang diserap oleh semen. Semakin besar kuantitas semen yang digunakan maka semakin besar juga jumlah air yang diserap, sehingga susut yang terjadi semakin besar.

II.2.5 Kuat Lentur Balok Beton

Kuat lentur (f_r) adalah kekuatan tarik beton dalam keadaan lentur akibat momen. Kekuatan yang dikenal sebagai modulus runtuh (*modulus of rupture*) adalah hal yang cukup penting untuk menentukan retak-retak dan lendutan dari suatu balok yang dibebani. Nilai ini ditentukan berdasarkan percobaan pada sebuah balok beton sederhana tanpa tulangan dengan sisi-sisi penampang 150 mm dan panjang 500 mm yang diberi beban pada 2 buah titik dengan jarak 1/3 bentang sampai benda uji patah.

Nilai modulus runtuh sedikit lebih besar dari nilai kekuatan tarik sesungguhnya. ACI-89 menetapkan nilai modulus runtuh sebagai :

$$f_r = 7,5\sqrt{f_c'} \quad \text{untuk beton normal}$$

f_r dalam psi bila f_c' dalam psi. Sedangkan dalam SNI SNI 03-1726-2002 pasal 11.5.3 ditetapkan bahwa besarnya modulus runtuh mengikuti rumus :

$$f_r = 0,70\sqrt{f_c'} \quad \text{untuk beton normal}$$

f_r dalam MPa bila f_c' dalam MPa.

II.3 MATERIAL PEMBENTUK BETON

II.3.1 Semen Portland

Semen adalah material pengikat yang mengikat material lain (mortar) untuk membentuk suatu benda padat atau beton. Semen atau biasa disebut semen portland merupakan bahan dasar pembuatan beton yang mempunyai sifat menyatu dan mengeras bila bercampur air karena adanya reaksi kimia⁴.

Semen Portland dibuat dengan menggerinda clinker (>90%) dan mencampurkan dengan gypsum (5%), serta 5% bahan lainnya sesuai pengaturannya. Beberapa material pembentuk lainnya adalah clay, biji besi, bauksit, fly ash dan slag. Bahan dasar ini berinteraksi satu sama lain sehingga menghasilkan suatu produk yang lebih kompleks yang disebut semen⁵.

Tabel 2.1 Komponen Utama Dari Semen Portland

Nama Bahan Pembentuk	Komposisi Oksida	Abbreviation
Tricalcium silicate	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Dicalcium silicate	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Tricalcium aluminate	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetracalcium aluminoferrite	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Sumber : Properties Of Concrete. A.M Neville.

Komposisi sesungguhnya dari bahan dasar semen tersebut adalah bervariasi. Dan tentu saja perbedaan dari tipe semen tersebut dihasilkan dari proporsi yang cocok dari bahan dasarnya.

⁴ Portland Cement, wikipedia-the free encyclopedia

⁵ Properties Of Concrete., A.M Neville., hal. 8

Tabel 2.2 Komposisi Standar Dari Semen Portland

Oksida	Kandungan (%)
CaO	60 – 67
SiO ₂	17 – 25
Al ₂ O ₃	3 – 8
Fe ₂ O ₃	0.5 – 0.6
MgO	0.5 – 4
Na ₂ O (Alkalis)	0.3 – 1.2
SO ₃	2 – 3.5

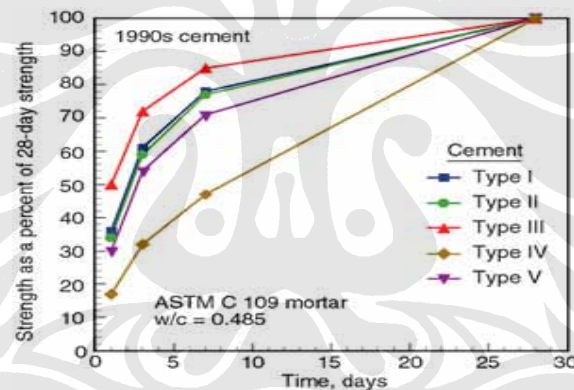
Menurut ASTM C 150-94 dan Standar Industri Indonesia (SII) 0031-81 semen yang diproduksi di Indonesia dibedakan menjadi lima jenis semen, yaitu :

- Semen Portland Tipe I (*Ordinary Portland Cement*)
Semen ini biasa digunakan untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal. Cocok dipakai pada tanah dan air yang mengandung sulfat antara 0,01%-0,10% dan dapat digunakan untuk bangunan rumah pemukiman, gedung-gedung bertingkat dan lain-lain.
- Semen Portland Tipe II (*Modified Portland Cement*)
Semen ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan dari beton massa (tebal) yang memerlukan ketahanan sulfat (pada lokasi tanah dan air yang mengandung sulfat antara 0,10%-0,20%) dan panas hidrasi sedang, misalkan bangunan dipinggir laut, bangunan di bekas tanah rawa, saluran irigasi, beton massa dan dam-dam dan landasan jembatan.
- Semen Portland Tipe III (*High Early strength Portland Cement*)
Semen ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan awal tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, misalnya untuk pembuatan jalan beton, bangunan-bangunan tingkat tinggi, bangunan-bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap serangan sulfat. Semen yang mempunyai panas hidrasi tinggi, untuk penggunaan beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).

Kekuatan yang dicapainya dalam 24 jam akan sama dengan kekuatan beton dari semen biasa dalam 7 hari. Hanya sekitar 3 hari kekuatan tekannya setara dengan kekuatan tekan 28 hari beton dengan semen biasa.

- Semen Portland Tipe IV (*Low Heat Portland Cement*)
Semen yang mempunyai panas hidrasi rendah, biasa digunakan untuk pengecoran dengan volume yang sangat besar.
- Semen Portland Tipe V (*Sulphate Resistant Portland Cement*)
Semen ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan pada tanah/air yang mengandung sulfat melebihi 0,20% dan sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir.

Setiap karakteristik dari semen tersebut mempunyai kekuatan yang berbeda-beda sesuai dengan keunggulan dan kelemahan masing-masing semen.



Gambar 2.3 Kekuatan Semen Berbagai Tipe ^[17]

II.3.2 Portland Composite Cement (PCC)

Berdasarkan definisi SNI 15-7064-2004: *Portland Composite Cement* adalah semen hidrolis yang terdiri dari campuran homogen antara semen Portland dengan *fly ash* dan pozzolan halus yang diproduksi dengan cara menggiling clinker semen Portland dan *fly ash* ditambah pozzolan bersama-sama. Semen campuran yang menggunakan bahan tambahan, seperti *fly ash*, pozzolan (natural dan artificial) dan batu kapur kualitas tinggi, pada campuran terak (*clinker*) dan gips dalam proses penggilingan akhir.

Berdasarkan definisi di atas maka yang membedakan PCC dengan semen Portland biasa (I s.d V) adalah banyaknya trass atau *fly ash* yang ditambahkan pada proses akhir (*finish mill*). Penambahan *fly ash* akan mengakibatkan pada struktur beton hal-hal sebagai berikut :

- *Curing time* (umur 90 hari) laju reaksi pozzolanic (pengikatan Ca) meningkat sehingga jumlah Ca(OH)_2 yang akan berinteraksi dengan CO_2 berkurang karenanya karbonasi terhambat
- Menurunkan alkalinitas beton yang merupakan penyebab terjadinya korosi pada besi beton

Kriteria ini akan meningkatkan ketahanan beton terhadap oksidasi akibat lingkungan yang bersifat asam (utamanya daerah rawa).

Berikut adalah bahan-bahan tambahan yang terdapat pada PCC:

- ***Fly ash* (V, W)**

Fly ash didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. *Fly ash* dapat dibedakan menjadi 2 yaitu siliceous dan calcareous. *Loss on Ignition fly ash* ditentukan dengan standar EN 196-2, tetapi dalam penggunaannya *Loss in Ignition* tidak lebih dari 5% berat. Akan tetapi, *fly ash* dengan *Loss on Ignition* 5%-7% masih dapat diterima, asal partikelnya memenuhi durability terutama tahan terhadap pembekuan dan *compatible* dengan *admixture* untuk memenuhi standar regulasi concrete atau mortar disesuaikan dengan tempat penggunaannya. Untuk itu, *fly ash* dengan LOI maksimum 7% pada semen harus ditulis di packing atau di surat pengiriman semen.

- a. ***Siliceous Fly Ash* (V)**

Siliceous fly ash ini terdiri dari reaktif silicon dioxide (SiO_2) dan aluminium oxide (Al_2O_3). Proporsi reaktif CaO harus kurang dari 10% berat. Kandungan bebas Calcium Oxide tidak boleh lebih dari 1%. *Fly ash* yang mempunyai *freelime* lebih dari 1% tetapi kurang dari 2.5% bisa diterima asalkan expansinya tidak lebih dari 10 mm ketika di tes menurut EN196-3 menggunakan campuran 30% *Siliceous Fly Ash* dan 70% semen CEM I menurut EN 197-1. Silicon oxide reaktif tidak boleh kurang dari 25%.

b. *Calcareous Fly Ash (W)*

Terutama terdiri dari CaO reaktif, SiO₂ reaktif dan Al₂O₃. Proporsi CaO reaktif tidak boleh kurang dari 10% berat. *Calcareous fly ash* mengandung antara 10%-15% CaO reaktif kandungan SiO₂ reaktif tidak boleh kurang dari 25%.

Calcareous fly ash yang mengandung lebih dari 15% CaO reaktif, kuat tekannya minimal 10 MPa pada 28 hari dengan pengujian menurut EN 196-1. Sebelum pengetesan, fly ash harus digrinding dan kehalusannya dinyatakan dengan residu basah pada 40 mikron harus antara 10%-30% berat. Specimen mortar dicetak 48 jam setelah preparasi dan kondisi curing dengan kelembaban relatif 90%.

Expansi *calcareous fly ash* tidak boleh lebih 10 mm ketika di tes menurut EN 196-3 menggunakan campuran 30% *calcareous fly ash* dan 70% CEM I menurut EN 197-1.

• ***Limestone (L, LL)***

Limestone harus memenuhi persyaratan :

- a. Kandungan calcium carbonat (CaCO₃), dihitung dari kandungan CaO minimal 75% berat.
- b. Kandungan clay, ditentukan dengan tes methylene blue menurut EN 933-9 tidak boleh lebih 1.20 gram/100 gram. Untuk tes ini *limestone* digrinding sampai kehalusannya mendekati 5000 cm²/gram menurut tes specific surface EN 196-6.
- c. Kandungan total organik carbon (TOC), di tes menurut EN 136-39 : 1999 *Limestone (LL)*, TOC (*Total Organic Carbon*) tidak boleh lebih 0.2% berat. *Limestone (L)*, TOC (*Total Organic Carbon*) tidak boleh lebih 0.5% berat.

• ***Silicafume (D)***

Silicafume berasal dari reduksi dari *quartz* kemurnian tinggi dengan batubara dalam energi *furnace* pada produksi *silicon* dan *ferrosilicon alloys* dan terdiri dari partikel sangat halus yang mengandung minimal 85% berat amorphous silicon dioxide. *Silicafume* harus memenuhi persyaratan :

- a. LOI tidak boleh lebih 4% berat menurut standar EN 196-2 dengan waktu pembakaran 1 jam.

b. *Specific surface* untuk *silicafume* yang belum di olah minimal kehalusannya 15 m/gram menurut ISO 9277.

- **Blastfurnace slag (S)**

Granulated blastfurnace dibuat dengan pendinginan cepat dari lelehan slag yang dihasilkan dari pembakaran *iron ore* dalam tanur tinggi, dan minimal dua per tiga bagiannya terdiri dari *glassy slag*. *Granulated blastfurnace slag*, terdiri dari minimal jumlah dua per tiga bagiannya terdiri dari calcium oxide (CaO), magnesium oxide (MgO) dan silicon dioxide (SiO₂). Perbandingan berat (CaO + MgO)/(SiO₂) tidak lebih dari 5%.

- **Burnt Shale (T)**

Burnt shale diproduksi melalui proses pembakaran pada sebuah kiln dengan temperatur sekitar 800 °C, dengan kandungan utamanya dicalcium silicate dan monocalcium aluminate. Selain itu terdapat dalam jumlah kecil kandungan free calcium oxide dan calcium sulfate, kandungan terbesar dari bahan pozzolanic oxide reaktif adalah silicon dioxide.

Burnt shale dalam bentuk halus bersifat hidrolis seperti semen Portland dan merupakan bahan aditif bersifat pozzolan. *Burnt shale* mempunyai kuat tekan paling rendah 25,0 MPa pad umur 28 hari yang di tes menggunakan standar EN 196-1. Tes mortar menggunakan burnt shale dilakukan setelah dibuat semen, specimen mortar dicetak 48 jam setelah preparasi dan kondisi curing dengan kelembaban relatif 90%.

Expansi dari *burnt shale* tidak boleh lebih dari 10 mm dites menggunakan standar EN 196-3 dengan komposisi campuran 30% berat *burnt shale* dan 70% berat semen CEM I sesuai standar EN 197-1.

- **Pozzolan Material (P, Q)**

Pozzolan material adalah bahan alami yang terdiri dari komposisi siliceous atau silico-aluminous atau kombinasi keduanya. Meskipun *fly ash* dan *silicafume* merupakan bahan pozzolan tetapi mempunyai perbedaan yang spesifik.

Pozzolan material tidak dapat mengeras ketika dicampur dengan air, butiran halusny dapat bereaksi secara kimia pada suhu normal dengan calcium hydroxide (Ca(OH)₂) membentuk calcium silicate dan calcium aluminate, campuran tersebut berbentuk material hidrolis yang keras.

Pozzolan terdiri dari silicon dioxide (SiO_2) reaktif dan aluminium oxide (Al_2O_3), kandungan lainnya adalah iron oxide (Fe_2O_2) dan oksida lainnya. Kandungan silicon (SiO_2) reaktif tidak boleh lebih dari 25.0% berat. Pozzolanic material harus dipersiapkan dengan baik meliputi seleksi, homogenisasi, pengeringan atau pemanasan.

a. *Natural pozzolan* (P)

Natural pozzolan merupakan material dari gunung berapi atau hasil sedimentasi bebatuan dengan komposisi kimia dan minerologinya sama seperti pozzolan umumnya.

b. *Natural calcined pozzolana* (Q)

Natural calcined pozzolana merupakan material dari gunung berapi, *clay, shale* atau hasil sedimentasi bebatuan.

Berikut adalah proporsi bahan-bahan penyusun semen PCC dalam tabel klasifikasi beberapa jenis semen di bawah ini:

Tabel 2.3 Klasifikasi semen berdasarkan jenis bahan yang digunakan

EN 197-1 : 2000														
Main types	Notation of products (types of common cement)		Composition, percentage by mass											
			Clinker	Blast furnace slag	Silica fume	Pozzolan natural	Pozzolan natural calcined	Fly Ash siliceous	Fly Ash calcareous	Burnt shale	Limestone	Minor additional constituents		
			K	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL		
CEM I	PORTLAND CEMENT	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II	PORTLAND SLAG CEMENT	CEM II A-S CEM II B-S	80-94 65-79	6-20 21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5 0-5	
	PORTLAND SILICA FUME CEMENT	CEM II A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	PORTLAND POZZOLANA CEMENT	CEM II A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	PORTLAND FLY ASH CEMENT	CEM II A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II A-W CEM II B-W	80-94 65-79	-	-	-	-	-	6-20 21-35	-	-	-	-	0-5 0-5
	PORTLAND BURNT SHALE CEMENT	CEM II A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
	PORTLAND LIMESTONE CEMENT	CEM II A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
CEM II B-LL		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
PORTLAND COMPOSITE CEMENT	CEM II A-M	80-94	←----- 6-20 -----→					-	-	-	-	-	0-5	
	CEM II B-M	65-79	←----- 21-35 -----→					-	-	-	-	-	0-5	
CEM III	BLAST FURNACE CEMENT	CEM III A	35-64	35-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	POZZOLANIC CEMENT	CEM IV A	65-89	-	←----- 11-35 -----→				-	-	-	0-5		
		CEM IV B	45-64	-	←----- 36-55 -----→				-	-	-	0-5		
CEM V	COMPOSITE CEMENT	CEM V A	40-64	18-30	-	←----- 18-30 -----→			-	-	-	0-5		
		CEM V B	20-39	31-50	-	←----- 31-50 -----→			-	-	-	0-5		

European Cement Standar EN 197-1

Semen PCC mempunyai ruang lingkup pemakaian yang hampir sama dengan semen portland tipe 1 pada umumnya. Berikut beberapa contoh penggunaan semen jenis ini:

- Pemakaian secara umum untuk semua mutu beton
- Struktur bangunan bertingkat sampai dengan gedung bertingkat tinggi
- Struktur jembatan
- Struktur jalan beton
- Beton precast dan prestress
- *Paving block, hollow block*, batako
- Pasangan bata, acian dan plesteran, dan lainnya

Dilihat dari segi keunggulan, semen PCC mempunyai keunggulan sebagai berikut:

- Lebih mudah dikerjakan
- Suhu beton lebih rendah, sehingga tidak mudah retak
- Permukaan acian dan beton lebih halus
- Lebih kedap air
- Lebih tahan terhadap serangan sulfat
- Mempunyai kekuatan yang tinggi
- Lebih tahan lama

II.3.3 Agregat

Pada SNI T 15-1991-03 agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama – sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolik atau adukan. Karena setidaknya tiga perempat dari volume beton diisi oleh agregat maka tidak mengherankan bila kualitas dari agregat harus dipertimbangkan.

Ukuran dari agregat yang digunakan dalam pembuatan beton adalah bervariasi dan mempunyai gradasi yang ditentukan oleh *sieve analysis*. Berdasarkan ukurannya agregat terbagi dua.

- *Coarse Agregat* : agregat yang mempunyai ukuran antara 5 – 150 mm. Yang terbuat dari bagian kepingan batuan keras, padat, dan tahan lama. Batuan yang mempunyai absorpsi lebih dari 3% atau *specific gravity* kurang dari 2,5 dianggap tidak baik untuk beton. *Sulphate* dan *sulphida* ditentukan oleh analisis kimia dan perhitungan SO_3 tidak boleh melebihi 0,5% dari berat coarse agregat.

- *Fine Agregat* : agregat halus yang bisa berasal dari penghancuran agregat kasar atau berasal dari alam. Spesifikasinya sama dengan coarse agregat tetapi harus terbebas dari debu, lempung, *silt*, *mica* dan materi organik.

Standar *sieve* yang digunakan adalah :

- *Coarse Agregat* :
150 mm, 80 mm, 63 mm, 40 mm, 20 mm, 16 mm, 12,5 mm, 10 mm, 4,75 mm dan 2,36 mm. (ekivalen dengan ASTM : 6", 3", 2,5", 1,5", ¾", 3/8", No. 4 dan No. 8).
- *Fine Agregat* :
4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 micron, 300 micron, dan 500 micron. (ekivalen dengan ASTM : No. 4, 8, 16, 30, 50 dan 100).

Agregat untuk beton harus memenuhi ketentuan dari 'Mutu dan Cara Uji Agregat Beton' dalam SII 00452-80 ataupun persyaratan ASTM C330 tentang *Specification for Concrete Agregate*.

II.3.4 Air

Penggunaan air berfungsi agar terjadi proses hidrasi yaitu proses reaksi kimiawi antara semen dengan air, yang menyebabkan campuran ini menjadi keras setelah beberapa waktu tertentu.

Air pada campuran beton terdiri dari tiga sumber yaitu :

1. Air pencampur itu sendiri.
2. Air yang diserap agregat pada keadaan (*saturated surface dry* atau *s.s.d*)
3. Air bebas, yaitu air yang terkandung dalam agregat.

Air bebas ini dapat mempengaruhi sifat pengerjaan beton. Sebelum pengecoran hendaknya perlu dilakukan pemeriksaan terhadap daya absorpsi dari agregat tersebut.

Beton untuk konstruksi gedung biasanya memiliki nilai rasio air semen sebesar 0,45 hingga 0,65. dengan rasio tersebut dapat dihasilkan beton yang kedap air, namun mutu beton tetap dipengaruhi cara pemadatan dan daya kerja. Pemadatan yang kurang baik, akan menimbulkan sarang kerikil (*honeycomb*) yang mengakibatkan beton keropos. Daya kerja beton diukur dari nilai *slump*. Nilai *slump* beton untuk bangunan berkisar 7,5 hingga 15 cm.

II.4 PENGUJIAN MATERIAL DAN SAMPEL

Pada proses membuat konstruksi sample benda uji digunakan referensi berupa kode-kode dari ASTM. Berikut ini akan dibahas prosedur pengujian material dan sampelnya. Sedangkan perhitungan campuran akan dibahas pada bab selanjutnya.

II.4.1 Pengujian agregat halus

Pengujian ini digunakan untuk mencari nilai *Bulk Specific Gravity Absorption* dan *Sieve Analysis dari agregat halus sesuai dengan ASTM C. 128* yang digunakan untuk menentukan volume dan berat isi agregat halus dalam beton. Berat isi agregat halus dapat dicari jika kita mengetahui besarnya berat jenis agregat halus yang digunakan. Berat isi (kg) = Berat jenis (kg/m³) x Volume (m³).

Untuk *sieve analysis* digunakan untuk mengetahui sebaran agregat yang ada sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditetapkan. Selain itu, juga dilakukan uji berat isi, lolos saringan No.200 (kadar lumpur) dan kadar organik

II.4.2 Pengujian agregat kasar

Pengujian ini digunakan untuk mencari nilai *Bulk Specific Gravity Absorption* dan *Sieve Analysis dari agregat halus sesuai dengan ASTM C. 128* yang digunakan untuk menentukan volume dan berat isi agregat halus dalam beton. Selain itu, juga dilakukan pengujian terhadap berat isi agregat dan abrasi.

II.4.3 Perbandingan campuran beton

Konsep perhitungan campuran beton adalah perbandingan campuran bahan-bahan beton (agregat halus, agregat kasar, semen, air dan admixture) yang digunakan untuk memperoleh hasil beton yang paling ekonomis.

1. menentukan *required strength*

Tahap pertama adalah menentukan besarnya *standard design strength* yang digunakan dalam proses *mix disain*. *Standard design strength* merupakan kekuatan beton yang direncanakan pada awal disain atau disebut juga kuat tekan rencana.

Setelah selesai menentukan besarnya kuat tekan rencana maka tahap selanjutnya adalah mencari *target strength*. *Target strength* merupakan *strength* yang harus dicapai oleh beton pada saat mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. *Target strength* digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan komposisi campuran beton.

Faktor-faktor yang mempengaruhi *target strength* adalah:

- *Standard design strength*
- Macam-macam kualitas beton
- Kepentingan/ kegunaannya pada struktur

ACI 318 merekomendasikan bahwa proporsi campuran beton harus dirancang berdasarkan pengalaman lapangan atau *trial mix* di laboratorium. Proporsi campuran beton dirancang berdasarkan *required / target strength* yang harus lebih tinggi dari *design strength*, dan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$f_{cr} = f_c + 1,34 S \text{ atau}$$

$$f_{cr} = f_c + 2,33 S + 500$$

dimana : $f_{cr} = \text{required strength}$

$f_c = \text{design strength}$

S = standar deviasi dari sejumlah benda uji

Atau dengan berdasarkan tabel dibawah :

Tabel 2.4 Target Kuat Tekan Beton Untuk Trial Mix

Specified compressive strength, f'_c (psi)	Required average compressive strength f'_c (psi)
<3000	$f'_c + 1000$
3000-5000	$f'_c + 1200$
>5000	$f'_c + 1400$

Sumber: Shan Somayaji, *Civil Engineering Materials* (New Jersey:Prentice Hall, 2001),hal.167.

2. Menentukan slump

Slump beton sebaiknya ditentukan serendah-rendahnya, akan tetapi beton masih dapat dikerjakan dengan baik. Dalam beberapa standar atau peraturan telah ditentukan nilai slump beton berdasarkan jenis konstruksi. Atau dalam referensi ini dapat dipilih pada tabel berikut:

Tabel 2.5 Nilai Slump Beberapa Tipe Konstruksi

Types of construction	Slump (inc)	
	Maximum	Minimum
Footings, caissons, foundation walls, and substructure walls	3	1
Beams, columns and walls	4	1
Pavements and slabs	3	1
Mass concrete	2	1

Sumber: Shan Somayaji, *Civil Engineering Materials (New Jersey:Prentice Hall, 2001)*,hal.103.

3. menentukan ukuran agregat kasar maksimum

Maksimum size agregat (MSA) ditentukan berdasarkan jenis struktur dan kerapatan tulangan beton terpasang, dan untuk perkiraan dapat ditentukan berdasarkan rumusan berikut:

$$MSA \leq \frac{\text{Dimensi terkecil}}{5}$$

4. menentukan water-cement ratio (W/C)

Water-cement ratio (W/C) ditentukan berdasarkan kebutuhan kuat tekan (*compressive strength*) dan keawetan beton (*durability*). Pada tabel dibawah besar kuat tekan yang digunakan berdasarkan *required strength*.

Tabel 2.6 Hubungan Antara w/c Dan Target Strength

Average compressive strength at 28 days*		Effective water/cement ratio (by mass)	
MPa	psi	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
45	—	0.38	—
—	6000	0.41	—
40	—	0.43	—
35	5000	0.48	0.40
30	—	0.55	0.46
—	4000	0.57	0.48
25	—	0.62	0.53
—	3000	0.68	0.59
20	—	0.70	0.61
15	—	0.80	0.71
—	2000	0.82	0.74

* Measured on standard cylinders. The values given are for a maximum size of aggregate of 20 to 25 mm (¾ to 1 in.), for concrete containing not more than the percentage of air shown in Table 19.5, and for ordinary Portland (Type I) cement.

Sumber: A. M. Neville dan J.J. Brooks, *Concrete Technology (England:Longman Group Ltd, 1994)*, hal.365.

5. menentukan air adukkan (W)dan kandungan udara (A)

Jumlah air adukan ditentukan dengan menggunakan tabel dibawah yang didasarkan atas nilai slump dan tipe beton *non-air entrained concrete* serta MSA.

Tabel 2.7 Aproximasi Kebutuhan Air Adukan Dan Kandungan Udara

Workability or air content	Water content, kg/m ³ (lb/yd ³) of concrete for indicated maximum aggregate size							
	10 mm (½ in.)	12.5 mm (½ in.)	20 mm (¾ in.)	25 mm (1 in.)	40 mm (1½ in.)	50 mm (2 in.)	70 mm (3 in.)	150 mm (6 in.)
Non-air entrained concrete								
Slump:								
30–50 mm (1–2 in.)	205 (350)	200 (335)	185 (315)	180 (300)	160 (275)	155 (260)	145 (220)	125 (190)
80–100 mm (3–4 in.)	225 (385)	215 (365)	200 (340)	195 (325)	175 (300)	170 (285)	160 (245)	140 (210)
150–180 mm (6–7 in.)	240 (410)	230 (385)	210 (360)	205 (340)	185 (315)	180 (300)	170 (270)	–
Approximate entrapped air content, per cent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Sumber: A. M. Neville dan J.J. Brooks, *Concrete Technology (England:Longman Group Ltd, 1994), hal.370.*

6. menghitung kandungan semen (C)

Setelah didapat jumlah air adukan dan harga W/C maka dapat dihitung jumlah kandungan semen, yaitu: $C = \frac{W}{W/C}$

7. menghitung kandungan Agregat kasar (Ca)

Dari tabel 2.14 dapat ditentukan volume agregat kasar (*dry-rodded condition*) per satuan volume beton untuk menghasilkan beton sesuai dengan *workability* yang disyaratkan. Dalam tabel ini volume agregat kasar juga ditentukan berdasarkan *Fineness Modulus* (FM) dari pasir dan juga MSA.

Tabel 2.8 Dry Bulk Volume Dari Agregat Kasar

Maximum size of aggregate		Dry bulk volume of rodded coarse aggregate per unit volume of concrete for fineness modulus of sand of:			
mm	in.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	½	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	½	0.59	0.57	0.55	0.53
20	¾	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1½	0.75	0.73	0.71	0.69
50	2	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3	0.82	0.80	0.78	0.76
150	6	0.87	0.85	0.83	0.81

The values given will produce a mix with a workability suitable for reinforced concrete construction. For less workable concrete, e.g. that used in road construction, the values may be increased by about 10 per cent. For more workable concrete, such as may be required for placing by pumping, the values may be reduced by up to 10 per cent.

Sumber: A. M. Neville dan J.J. Brooks, *Concrete Technology (England:Longman Group Ltd, 1994), hal.379.*

8. menghitung kandungan Agregat halus (S)

Setelah didapat kandungan air (W), semen (C), agregat kasar(Ca) dan udara dalam beton (A), maka dapat dihitung kandungan agregat halus / pasir (S), yaitu sebagai berikut :

$$V_S = V_{\text{beton}} - (V_C + V_W + V_{Ca} + V_A) \quad \dots (2.14)$$

Untuk mengecek perhitungan dapat dilakukan perbandingan dengan besar berat beton dari tabel dibawah.

Tabel 2.9 Estimasi Awal Density Dari Fresh Concrete

Maximum size of aggregate		First estimate of density (unit weight) of fresh concrete			
		Non-air-entrained		Air-entrained	
mm	in.	kg/m ³	lb/yd ³	kg/m ³	lb/y
10		2285	3840	2190	369 ^l
12.5		2315	3890	2235	376 ^l
20		2355	3960	2280	384 ^l
25	1	2375	4010	2315	390 ^l
40	1½	2420	4070	2355	396 ^l
50	2	2445	4120	2375	400 ^l
70	3	2465	4160	2400	404 ^l
150	6	2505	4230	2435	412 ^l

Sumber: A. M. Neville dan J.J. Brooks, *Concrete Technology (England:Longman Group Ltd, 1994)*, hal.379.

II.5 TEORI STATISTIK UNTUK SAMPEL KECIL

II.5.1 Ukuran Sampel

Sampel besar adalah sampel yang berukuran $N > 30$, distribusi penarikan sampel dari kebanyakan statistik mendekati normal, dan pendekatan ini semakin sempurna jika N semakin besar. Untuk sampel yang berukuran $N < 30$, disebut sampel kecil, pendekatan normal ini kurang sempurna dan semakin memburuk jika N semakin kecil, sehingga diperlukan penyesuaian-penyesuaian seperlunya. Untuk sampel kecil umumnya digunakan analisis menggunakan ukuran pemusatan.

II.5.2 Ukuran Pemusatan

Metode ukuran pemusatan dilakukan dengan mengambil pusat data dari kelompok data yang disusun menurut besar kecilnya nilai. Metode ini mempunyai kecenderungan memusat (*measures of central tendency*). Pengambilan nilainya dari himpunan atau sekelompok data tersebut dinamakan rata-rata (*average*). Beberapa jenis rata-rata yang sering digunakan ialah rata-rata hitung (*geometric mean*) dan rata-rata harmonis (*harmonic mean*).

Setiap rata-rata tersebut selain mempunyai keunggulan juga memiliki kelemahan, dan ketepatan penggunaannya sangat bergantung pada sifat dari data dan tujuannya.

II.5.3 Rata-rata Hitung

Rata-rata hitung sering digunakan sebagai dasar perbandingan antara dua kelompok nilai atau lebih. Jika, terdapat nilai variabel X, sebagai hasil pengamatan atau observasi sebanyak N kali, yaitu $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$, maka:

➤ Rata-rata sebenarnya (populasi):

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i = \frac{1}{N} (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N)$$

Rata-rata ini dihitung berdasarkan populasi, karena itu rata-rata sebenarnya sering disebut rata-rata populasi.

➤ Rata-rata perkiraan (sampel)

Jika rata-rata populasi dihitung berdasarkan sampel sebanyak n, dimana $n < N$ observasi, maka rata-rata yang diperoleh disebut rata-rata perkiraan, atau rata-rata sampel, yang diberi simbol \bar{X} , yang rumusnya sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N X_i = \frac{1}{n} (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N)$$

II.5.4 Simpangan Baku (*Standard Deviations*)

Perhitungan rata-rata hanya menghasilkan pusat data tanpa memperhatikan sebarannya (dispersi). Simpangan baku adalah yang paling banyak dipergunakan untuk analisis disperse, sebab mempunyai sifat-sifat matematis yang sangat penting.

Simpangan baku diperoleh dari akar kuadrat positif varians, dimana varians adalah rata-rata hitung dari kuadrat simpangan setiap pengamatan terhadap rata-rata hitungnya. Rumus varians (σ^2) sebagai berikut:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2, \text{ maka rumus simpangan baku adalah:}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}}$$

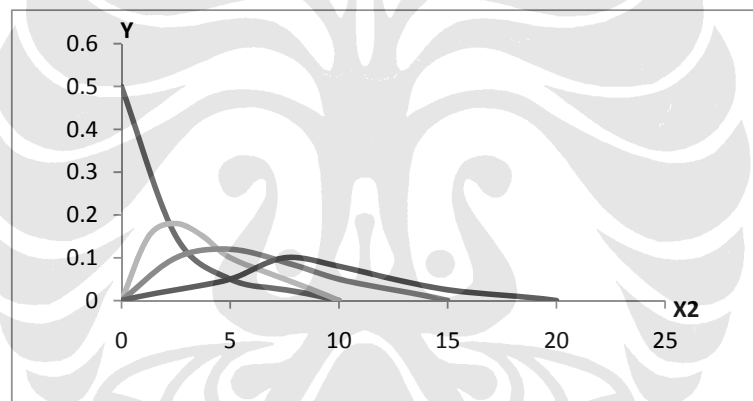
II.5.5 Distribusi Chi-Kuadrat

$$\chi^2 = \frac{Ns^2}{\sigma^2} = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2}{\sigma^2}$$

Sampel-sampel sebesar N yang diambil dari populasi normal dengan deviasi standar σ , jika setiap sampel menghitung χ^2 . Distribusi ini disebut distribusi Chi-kuadrat dirumuskan sebagai

$$Y = Y_0 (\chi^2)^{\frac{1}{2}(\nu-2)} e^{-\frac{1}{2}\chi^2} = Y_0 (\chi^2)^{\nu-2} e^{-\frac{1}{2}\chi^2}$$

di mana $\nu = N - 1$ merupakan derajat kebebasan, dan Y_0 merupakan suatu konstanta yang tak bebas terhadap ν sedemikian rupa sehingga seluruh daerah di bawah kurva sama dengan satu. Distribusi-distribusi chi-kuadrat yang sesuai dengan berbagai nilai ν ditunjukkan dalam gambar di bawah ini. Nilai maksimum dari Y terjadi pada $\chi^2 = \nu - 2$ untuk $\nu \geq 2$.



Gambar 2.4 Grafik Distribusi Chi-kuadrat untuk berbagai nilai ν ^[13]

II.5.6 Interval Keyakinan Dari χ^2

Jika $\chi_{0,025}^2$ dan $\chi_{0,975}^2$ merupakan nilai-nilai χ^2 di mana 2,5% dari daerah di bawah kurva terletak pada masing-masing ujung distribusi maka interval keyakinan

95% adalah $\chi_{0,025}^2 < \frac{Ns^2}{\sigma^2} < \chi_{0,975}^2$, dari rumus itu dapat dilihat bahwa σ terletak

dalam interval $\frac{s\sqrt{N}}{\chi_{0,025}} < \sigma < \frac{s\sqrt{N}}{\chi_{0,975}}$ dengan 95% keyakinan. Cara yang sama

digunakan untuk interval-interval keyakinan yang lain dapat dicari. Nilai $\chi_{0,025}$ dan $\chi_{0,975}$ masing-masing mewakili nilai-nilai persentil 2,5 dan 97,5.

Untuk nilai-nilai ν ($\nu \geq 30$) dapat memanfaatkan kenyataan bahwa $(\sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2\nu - 1})$ mempunyai distribusi yang hampir normal dengan nilai tengah nol dan deviasi standar satu. Jika χ_p^2 dan z_p merupakan berturut-turut adalah persentil ke- p dari distribusi-distribusi chi-kuadrat dan normal, maka

$$\chi_p^2 = \frac{1}{2} (z_p + \sqrt{2\nu - 1})^2$$

II.5.7 Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan dari suatu statistik yang biasanya dinyatakan sebagai ν adalah jumlah N observasi yang bebas dalam sampel dikurangi dengan sejumlah k parameter populasi yang harus disuga dari observasi sampel, $\nu = N - k$.

Di dalam statistik jumlah observasi bebas dalam sampel adalah sebesar N , dan dapat menghitung \bar{X} dan s . namun demikian, harus menduga μ , $k = 1$ dan $\nu = N - 1$.

