

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. *Fly Ash*

Fly ash merupakan abu yang dihasilkan dari sisa pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (Nurzal dan Ardiansyah, 2015 ; Nurzal dan Zakir, 2014). *Fly ash* memiliki memiliki massa jenis antara 1,9-2,55 kg/m³ . Massa jenis *fly ash* dalam keadaan bebas berkisar antara 540-860 kg/m³ sedangkan jika dipadatkan berkisar antara 1.120-1.500 kg/m³ . *Fly ash* dapat digunakan sebagai bahan tambah adukan dan campuran pembuatan semen. Selain itu, juga dapat dimanfaatkan sebagai campuran aspal, campuran beton, dan dicetak menjadi *paving block* atau batako (Wenno et al., 2014).

Dalam proses pembakaran batu bara dihasilkan dua material sisa. Satu material yang keluar dari cerobong asap tungku pembakaran berupa debu yang sangat halus disebut *fly ash*. Sedangkan material lainnya berupa debu kasar yang berada pada dasar tungku disebut *bottom ash*. Berdasarkan konteks umum *fly ash* termasuk material yang mempunyai kadar semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolan. Menurut Neville, A. M., Brooks, J. J. (1999), sifat pozzolan adalah sifat yang dimiliki bahan-bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Kandungan *fly ash* menurut Santoso, I., Roy, S. K., et al. (2004) mengandung Silica (SiO₂), Besi Oksida (Fe₂O₃), Aluminium Oksida (Al₂O₃), Kalium Oksida (CaO), Magnesium Oksida (MgO), dan Sulfat (SO₄).

Banyak negara industri menggunakan batu bara sebagai bahan bakar, khusus Papua – Jayapura adalah PLTU holtekam. Industri ini lah yang merupakan penghasil material *fly ash* dan *bottom ash*. Mutu *Fly ash* beragam tergantung dari mutu kehalusan butiran batubara, efisiensi pembakaran, dimensi tungku pembakaran serta cara penangkapan *fly ash* dalam pembakaran batu bara.

2.1.1 Analisa Unsur Kimia *Fly Ash*

Dari hasil analisa kimia, *fly ash* didapati memiliki unsur-unsur yang tidak terbakar seperti SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, dan cenderung berada pada partikel yang berukuran halus, sedangkan unsur-unsur karbon yang ada, pada umumnya ditentukan oleh “*loss of ignition*” lebih dominan pada partikel

kasar, sehingga presentase berat yang lolos ayakan no.325 (ASTM C618) pada umumnya dapat dipakai sebagai indikator kadar karbon (Wardani, S. P. R. 2008).

2.1.2 Sifat Fisik dan Karakteristik *Fly Ash*

Menurut laporan ACI *Committee* 226.3R-87, ukuran dan bentuk karakteristik partikel *fly ash* tergantung dari tempat asal homogenitas batu bara, ukuran butiran *fly ash* sebelum dibakar, pembakaran yang merata dan tipe sistem pemadatan, berlubang (*cenosphere*), dan yang berbentuk bulatan yang mengandung lebih sedikit *fly ash* (*plerospheres*). Material *fly ash* ini berwarna abu – abu apabila dihasilkan langsung dari pembakaran batu bara pada keadaan kurang oksigen. Proses pembakaran batu bara memegang peranan yang sangat penting, sebab *fly ash* yang dihasilkan akan semakin baik apabila proses pembakarannya semakin sempurna. *Fly ash* yang sempurna ini adalah *fly ash* yang dibakar pada suhu di atas 10.000 C° dan warnanya ke abu-abuan (Andoyo, 2006).

2.1.3 Kadar Kandungan Kimia *Fly Ash*

Dalam SNI 03-6863-2002 (2002:146) spesifikasi *fly ash* sebagai bahan untuk campuran beton disebutkan ada 3 jenis (Andoyo, 2006), yaitu :

1. *Fly ash* jenis N, ialah *fly Ash* hasil kalsinasi dari pozzolan alam misalnya tanah *diatomite*, *shole*, *tuft*, dan batu apung.
2. *Fly ash* jenis F, ialah *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis antrasit pada suhu kurang lebih 1560 0 C
3. *Fly ash* jenis C, ialah *fly ash* hasil pembakaran lignit/batu bara dengan kadar karbon sekitar 60%. *Fly ash* jenis ini mempunyai sifat seperti semen dengan kadar kapur diatas 10%.

Sebenarnya, baik *fly ash* jenis F maupun jenis C mempunyai karakteristik yang hampir sama. Yang membedakan keduanya hanyalah komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. *Fly ash* jenis F biasanya berasal dari hasil pembakaran bitumen batu bara, mempunyai total kandungan silica (SiO₂), Alumina (AL₂O₃) dan ferum oksida (Fe₂O₃) minimum 70% dari berat total campuran dan kandungan kalsium oksida (CaO) yang rendah, yaitu

kurang dari 10%. Walaupun jenis ini mempunyai bahan mineral kristalin yang tidak reaktif, *fly ash* jenis F ini masih memiliki sifat pozzolan. *Fly ash* jenis F ini memiliki tingkat penambahan panas yang lambat dibandingkan dengan *fly ash* jenis C (Vargas, J. A. 2007).

Fly ash jenis C biasanya berasal dari pembakaran sub-bitumen batu bara dengan kandungan silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan ferum oksida (Fe_2O_3) sedikitnya mencapai 50% dari berat total dan kandungan kalsium oksida yang tinggi yaitu berkisar antara 10% sampai 30%. Hampir semua bahan mineral yang dikandung oleh *fly ash* jenis ini memiliki sifat yang reaktif, sehingga memiliki sifat pozzolan dan juga sifat semen. *Fly ash* jenis C digunakan apabila dibutuhkan beton dengan kekuatan awal yang tinggi, karena salah satu cirinya adalah memiliki kekuatan awal yang tinggi dibandingkan dengan jenis F (Vargas, J. A. 2007).

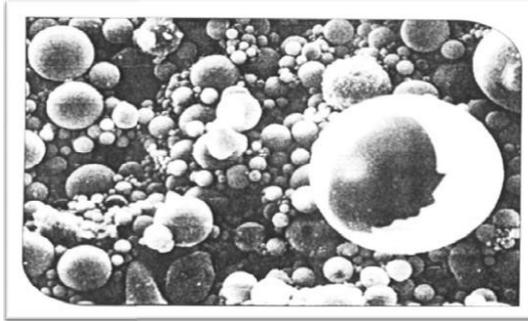
Berdasarkan ASTM C618-84a, kandungan kimia *fly ash* jenis C adalah CaO , SiO_2 , Al_2O_3 . *Fly ash* jenis ini berasal dari pembakaran batu bara *subbituminous* dan mempunyai berat jenis sekitar $2.31 - 2.86 \text{ Ton/m}^3$ (ACI 226 3R-87). *Fly ash* selama ini memiliki banyak kegunaan yang amat beragam antara lain dalam penyusunan beton jalan, bahan baku keramik, pengganti semen dan bahan baku pembuatan semen.

Fly ash mempunyai kadar *pozzolanic*, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air.



Gambar 2. 1 Abu Terbang (*fly Ash*)

Sumber : Dokumentasi pribadi dan Google.com



Gambar 2. 2 Partikel *Fly Ash*

Sumber : Google.com

Fly ash adalah salah satu bahan yang mengandung *silica amorf*, dimana *silica amorf* merupakan salah satu senyawa yang dapat mereduksi jumlah *calcium hidroksida* yang terbentuk, seperti yang telah disebutkan pada bagian sebelumnya, *calcium hidroksida* adalah senyawa yang jika bereaksi dengan C_3AH_6 dan C_4AFH_{12} akan membentuk *ettringite* yang menyebabkan beton mengalami perubahan volume membesar dan menyebabkan terjadinya *micro crack* yaitu *calcium hidroksida* dapat tereduksi karena reaksi antara *calcium hidroksida* dengan air dan *silica* dapat membentuk *calcium silikat hidrat*.

Dengan berkurangnya *calcium hidroksida* tidak membuat beton kekurangan sifat basanya karena *calcium silikat* sehingga dapat menggantikan peran dari *calcium hidroksida* dalam membuat sifat basa dari beton.

Dalam penggunaannya sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran bersifat sebagai *pozzolan* dan sebagai *filler*. Sebagai *pozzolan* karena akan terjadi reaksi pengikatan antara semen dengan *fly ash*, sedangkan karena bentuk dari *fly ash* yang sangat halus. Selain itu kelebihan *fly ash* adalah tahan terhadap serangan dari sulfat. Setyawan. R., Wiratmoko. T. (2007).

Fly ash dapat dibagi menjadi 3 kelas berdasarkan jenis batu bara yang digunakan, yaitu *fly ash* kelas F, C, dan N. *Fly ash* kelas N dan C merupakan residu pembangkit listrik dengan menggunakan batu bara sebagai bahan bakar. *Fly ash* kelas F memiliki kadar kapur yang lebih rendah (kurang dari

15%) dan memiliki kandungan silikat oksida (SiO_2), Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang lebih besar (min 70%) dibandingkan *fly ash* kelas C. Kandungan kapur pada *fly ash* kelas C lebih besar yaitu lebih dari 15%-30%. Kandungan CaO yang tinggi membuat *fly ash* kelas C memiliki karakter yang mudah mengeras dengan sendirinya (Haryanto et al., 2008).

Fly Ash kelas F, C, dan N memiliki kandungan *fly ash* yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut dipengaruhi dengan adanya perbedaan bahan dasar pembuatnya. Perbedaan ketika kelas *fly ash* tersebut ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbedaan Kandungan FA dan Bahan Dasar Pembuatannya
(Mulyati, 2015)

No	Jenis FA	Kandungan FA	Bahan dasar pembuatan
1	FA Jenis N	-	Pollozan alam
2	FA Jenis F	lebih kecil 10 %	hasil pembakaran batubara
3	FA Jenis C	di atas 10 %	hasil lembaran likmit (batu bara dengan kadar karbon 60%)

Sumber: Data pribadi

2.2 Filler

Filler atau bahan pengisi material yang berbutir halus yang lolos saringan no. 200 (diameter 0.075 mm) yang terdiri dari debu batu, kapur padam, dan semen portland, atau bahan non plastis lainnya. *Filler* harus kering dan tidak terganggu dari bahan lainnya (Kumalawati et al., 2013).

Filler ini berfungsi sebagai pengisi antara agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi kecil dan menghasilkan tahanan gesek serta penguncian antar butir yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran (Kumalawati et al., 2013).

Kadar *filler* dalam campuran beton akan berpengaruh pada proses campuran penghampanan dan pemadatan. Selain itu, *filler* juga mempengaruhi sifat elastisitas dan sensitivitas terhadap air (Kumalawati et al., 2013).

2.3 Paving Block

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *portland* atau bahan bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu *paving block* itu sendiri (SNI 03-0691-1996). *Paving block* merupakan produk bahan bangunan semen yang digunakan sebagai salah satu alternatif pengerasan permukaan tanah (Nurzal dan Taufik, 2016).

Penelitian ini mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* sebagai *filler* terhadap daya kuat tekan *paving block*. Selain itu juga mengetahui selisih harga produksi pembuatan *paving block* dengan penambahan *fly ash* dan air gamping terhadap *paving block* normal. Penelitian dilakukan dengan melakukan variasi proporsi (1:6) dengan perbandingan massa semen terhadap massa pasir dan abu batu. Hasil variasi tersebut masing-masing dibandingkan dengan *paving block* normal. Pengujian daya kuat tekan *paving block* masing-masing variasi *proporsi* dilakukan pada hari ke 3,14 dan 28, dilakukan curing secara berkala.

2.3.1 Klasifikasi *Paving block* menurut SNI 03-0691-1996

- Paving block* mutu A : untuk jalan
- Paving block* mutu B : untuk area parkir
- Paving block* mutu C : untuk pejalan kaki
- Paving block* mutu D : untuk taman dan penggunaan lainnya

Tabel 2. 2 Mutu *Paving block* menurut SNI 03-0691-1996

Mutu	Kuat tekan (Mpa)		Penyerapan Rata-rata Max (%)	Aplikasi
	Rata-rata	Min	Rata-rata	
A	40	35	3	Jalan
B	20	17	6	Tempat parkir Mobil
C	15	12,5	8	Pejalan kaki
D	10	8,5	10	Taman dan Penggunaan lain

(Sumber : SNI 03-0691-1996)

2.3.2 Klasifikasi *Paving Block* Berdasarkan Cara Pembuatannya

Berdasarkan cara pembuatannya *Paving block* dapat digolongkan dalam beberapa jenis yaitu :

1) *Paving Block* Press Manual / Tenaga Manusia (Tangan)

Paving block Press Manual/ Tangan yang diproduksi secara manual dengan tangan. *Paving block* jenis ini termasuk jenis beton kelas D (K 50-100). Sesuai dengan mutunya yang rendah, paving jenis ini memiliki nilai jual rendah. Sedangkan untuk pemakaiannya, paving block press manual umumnya digunakan untuk perkerasan non struktural, seperti halaman rumah, trotoar jalan, dan perkerasan lingkungan dengan daya beban rendah.

2) *Paving Block* Press Mesin Vibrasi / Getar

Paving block jenis ini diproduksi dengan mesin press sistem getar dan umumnya memiliki mutu beton kelas C-B (K150-250). Dalam pemakaiannya *Paving Block* Press Mesin Vibrasi ini banyak digunakan sebagai alternatif perkerasan di pelataran garasi rumah dan lahan parkir.

3) *Paving Block* Press Mesin Hidrolik

Paving jenis ini diproduksi dengan cara dipress menggunakan mesin press hidrolik dengan kuat tekan diatas 300 kg/cm². *Paving block* press hidrolik dapat dikategorikan sebagai paving block dengan mutu beton kelas B-A (K 300-450). 7 Pemakaian paving jenis ini dapat digunakan untuk keperluan non struktural maupun untuk keperluan struktural yang berfungsi untuk menahan beban yang berat yang dilalui diatasnya, seperti: areal jalan lingkungan hingga sebagai perkerasan lahan pelataran terminal peti kemas di pelabuhan (Wintoko, 2007).

2.3.3 Standar dan Mutu *Paving Block* Menurut SNI 03-0691-1996

1. Sifat tampak mempunyai permukaan yang rata, tidak adanya retak pada *paving*, dan cacat seperti rusaknya di sudut-sudut paving.
2. Ukuran harus memiliki tebal minimal 60 mm dengan toleransi +8%

2.3.4 Bahan Penyusun *Paving Block*

Paving block terbuat dari mortar yang tersusun dari pasir, semen dan air dengan kandungan kimia seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , dan H_2O di dalamnya (Hambali et al., 2013).

Macam-macam mortar ada 4, yakni:

- 1) Mortar lumpur
- 2) Mortar kapur
- 3) Mortar semen
- 4) Mortar khusus

Syarat mortar yang baik harus memiliki sifat rekat kuat dengan bata atau sejenisnya dalam penggunaannya, mudah dalam pengolahannya, cepat kering dan tahan terhadap rembesan air, serta murah dan tahan lama.

2.4 Agregat Halus

Agregat halus (pasir) merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm (SNI-03-2847-2002). Agregat halus (pasir) ini digolongkan menjadi 3, yaitu pasir galian, pasir laut, pasir sungai.

Syarat agregat halus (pasir) menurut PUBI 1982 :

1. Pasir beton harus bersih, dalam pengujian dengan larutan pencuci khusus tinggi endapan pasir yang kelihatan dibandingkan tinggi seluruhnya tidak kurang dari 70%
2. Pasir lolos ayakan 0.063 mm (lumpur) tidak lebih dari 5% dari beratnya.
3. Angka modulus halus butir terletak antara 2,2 sampai 3,2 bila diuji dengan rangkaian ayakan berukuran 0,16 mm, 0,0315 mm, 0,63 mm, 1,25 mm, dan 10 mm dengan fraksi yang lewat ayakan 0,3 mm minimal 15% dari berat.
4. Kekekalan terhadap larutan MgSO_4 harus tidak lebih dari 10%.
5. Pasir tidak boleh mengandung zat organik yang dapat mengurangi mutu beton, untuk itu bila direndam dengan larutan NaOH 3% cairan

diatas endapannya tidak boleh lebih gelap dari pada larutan pembanding.

Agregat yang digunakan untuk bahan campuran adukan atau mortar harus memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SK SNI-S-04 1989 P dengan modulus halus 1,5 sampai 3,8.

a. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis agregat adalah rasio antara masa padat agregat dan masa air dengan volume sama dan suhu yang sama. Berdasarkan hal tersebut agregat dibedakan menjadi 3:

- 1) Agregat ringan, dengan berat jenis kurang dari $2,0 \text{ g/cm}^3$
- 2) Agregat normal, dengan berat jenis lebih dari $2,3 - 2,7 \text{ g/cm}^3$
- 3) Agregat berat, dengan berat jenis lebih dari $2,8 \text{ g/cm}^3$

b. Gradasi Agregat Halus

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Jika suatu agregat memiliki keseragaman dalam bentuk ukuran maka volume dari pori tersebut semakin besar, jika ukuran butiran dari agregat dikombinasikan maka volume pori akan mengecil. Karena pori yang kecil akan masuk kedalam pori yang besar, sehingga pori akan tertutup dan mengakibatkan kemampatannya tinggi.

Pada agregat pembuatan mortar digunakan butiran yang kemampatannya tinggi karena volume porinya sedikit yang membutuhkan bahan ikat yang sedikit. Bahan ikat yang dibutuhkan juga sedikit karena bahan ikat mengisi pori antara butir-butir agregat.

c. Kekekalan Agregat Halus

Kekekalan agregat dapat diketahui dari ketahanan agregat terhadap gangguan cuaca. Apabila tidak memiliki sifat kekekalan maka akan mempengaruhi volume yang mengakibatkan menurunnya kualitas dari suatu beton. Hal ini biasanya berupa retakan pada permukaan beton, dan mengakibatkan dampak yang membahayakan maupun merugikan di bidang struktur.

d. Berat Volume Agregat Halus

Berat volume agregat berat agregat dalam satuan volume, yang dinyatakan dalam kg/liter atau ton/m³ yang dihitung dari berat agregat dalam suatu tempat tertentu. Sehingga yang dihitung adalah volume yang meliputi volume padat (tertutup) dan volume pori terbuka.

e. Kadar Air

Keadaan air dalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu (Tjokrodimuljo, 1996) :

1. Kering tungku, kondisi dimana agregat halus tidak berair dan dapat secara penuh menyerap air.
2. Kering udara, kondisi dimana agregat halus permukaannya kering tetapi masih mengandung sedikit air di dalam pori porinya. Oleh karena itu, agregat halus dalam tingkat ini masih dapat sedikit menyerap air.
3. Jenuh kering muka, kondisi ini tidak ada air di permukaan air, tetapi butir butiranya berisi air sejumlah air yang dapat diserap. Engan demikian butiranbutiran agregat pada tingkat ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.
4. Basah, pada kondisi ini agregat halus mengandung banyak air, baik dipermukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai maka campuran akan memberi air.

Pada suatu kadar tertentu volume agregat halus mulai berkurang dengan bertambahnya kadar air. Pada kadar air tertentu pula, besar penambahan volume pasir itu menjadi nol, berarti volume pasir menjadi sama dengan volume pasir kering.

f. Kandungan Lumpur Agregat Halus

Menurut ASTM 33-86 bahwa:

1. Kadar lumpur atau bagian butir yang lebih kecil dari 75 mikron (lolos ayakan no. 200) dalam % berat maksimum untuk :
 - a. Beton yang mengalami abrasi 3%
 - b. Jenis beton lain 5%

2. Kadar gumpalan tanah liat atau partikel yang mudah direpihkan maksimum 3%
3. Kandungan arang atau lignit, bila tampak permukaan beton dipandang penting kandungan maksimum 5%. Beton jenis lainnya kandungan maksimum sebesar 1%.

g. Modulus Halus Butir

Modulus halus butir adalah suatu indeks yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat. Persyaratan pasir menurut PUBI (1982) agar dapat digunakan menjadi bahan bangunan adalah:

1. Pasir beton harus bersih, dalam pengujian dengan larutan pencuci khusus tinggi endapan pasir yang kelihatan dibanding tinggi seluruhnya tidak kurang dari 70%.
2. Pasir ayakan lewat 0.063 mm (lumpur) tidak lebih dari 5% dari beratnya.
3. Angka modulus halus butir terletak antara 2.2 sampai 3.2 bila diuji dengan rangkaian ayakan berukuran 0.16 mm, 0.315 mm, 0.63 mm, 1.25 mm, 2.5 mm, dan 10 mm dengan fraksi yang lewat ayakan 0.3 mm minimal 15% dari berat.
4. Kekekalan terhadap larutan $MgSO_4$ harus tidak lebih dari 10%.
5. Pasir tidak boleh mengandung zat-zat organik yang dapat mengurangi mutu beton, untuk itu bila direndam dengan larutan NaOH 3% cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding. Penelitian ini menggunakan pasir Jember, dikarenakan untuk menekan harga pembuatan dan juga tidak dapat mengurangi kualitas dari *paving block* tersebut.

2.5 Batu *Split* (Abu Batu)

Batu *split* adalah material bangunan yang diperoleh dengan cara membelah atau memecah batu ukuran besar hingga menjadi kecil. Yang berfungsi sebagai bahan pembuat adonan cor beton yang dicampur dengan semen dan pasir. Dari beberapa macam batu *split* yang termasuk adalah abu batu yang merupakan hasil

belahan atau pecahan batu dengan diameter 0-5 mm, yang dapat digunakan dalam pembuatan *paving block*.

2.6 Portland Semen

Portland semen merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain (SNI 2049-2015). Semen portland terdiri atas empat unsur penting, yaitu trikalsium silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), dikalsium silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), trikalsium aluminat/C3A ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), dan tetrakalsium aluminoforit/C4AF ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$). Trikalsium silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) yang terkandung dalam semen yaitu $\pm 55\%$. Senyawa $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ dapat mengeras dalam beberapa jam yang disertai pengan pelepasan energi panas. Proses pengikatan $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ yang terjadi mempengaruhi kekuatan beton dan umur awal pada 14 hari pertama (Hambali et al., 2013).

Senyawa dikalsium silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) yang terkandung didalam semen portland $\pm 20\%$. Pembentukan senyawa ini sangat lambat disertai dengan pelepasan energi panas. Senyawa C_2S berpengaruh pada perkembangan kekuatan beton dari umur 14 hari dan seterusnya. Kandungan senyawa C_2S yang banyak akan memberikan ketahanan agresi kimia dan penyusutan yang lebih rendah serta membuat beton menjadi tahan lama (Sitohang 2009 dalam Hambali et al., 2013).

Kandungan trikalsium aluminat/ C_3A ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) pada semen *portland* $\pm 10\%$. Senyawa ini berperan pada proses pengikatan awal, namun kontribusi terhadap kekuatan beton relatif kecil. Senyawa ini juga lemah terhadap agregasi kimia dan lebih berpeluang mengalami perpecahan oleh sulfat pada air tanah. Hal ini akan menyebabkan keretakan akibat perubahan volume (Sitohang 2009 dalam Hambali et al., 2013).

Senyawa tetrakalsium aluminoforit/ C_4AF ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) dapat merubah reaksi kimia C_2F menjadi C_4AF . Senyawa ini terkandung $\pm 8\%$ dalam semen. Senyawa C_4AF tidak berkontribusi terhadap pembentuk sifat-sifat pada beton (Sitohang 2009 dalam Hambali et al., 2013).

2.6.1 Jenis dan Penggunaan menurut SNI 15-2049-2004

- a. Jenis I : digunakan secara umum tanpa memerlukan syarat-syarat khusus.
- b. Jenis II : penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III : penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap pemulaan setelah pengkatan terjadi.
- d. Jenis IV: penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Jenis V : penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.7 Air

Air merupakan bahan yang penting dalam pembuatan *paving block*. Karena air diperlukan agar bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Dalam hal ini air adalah bahan yang paling wajib diperhatikan karena jika air yang dimasukkan terlalu banyak akan mempengaruhi kualitas *paving block*, sedangkan jika kekurangan air *paving block* juga mengalami penurunan kualitas dan tidak masuk dalam perencanaan pembuatan *paving block*.

Air untuk campuran agregat *paving block* sebaiknya harus memenuhi syarat (SK-SNI-S-1989-F) yaitu:

- a. Air bersih
- b. Tidak terdapat lumpur didalam air yang lebih dari 2 grem/liter
- c. Tidak boleh mengandung lumpur berminyak dan benda terapan lain yang dapat diliat secara visual.
- d. Tidak mengandung bahan perusak beton (asam organik) lebih dari 15 gram/liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.
- f. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0.5 gram/liter.

2.8 Kuat Tekan

Kuat tekan *paving block* yaitu besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu dihasilkan oleh mesin uji tekan

Kuat tekan beton dengan menggunakan semen hanya bertahan paling tinggi sampai umur 7 hari. Kekuatan tekan beton kemudian melambat setelah hari ketujuh. Kuat tekan beton dapat meningkat setelah berumur 7 hari dengan menggunakan campuran *fly ash* meskipun kekuatan awal beton lebih lambat (Haryanto et al., 2008). Rumus yang digunakan dalam pengujian kuat tekan *paving block* yaitu :

$$\sigma'_x = \frac{P}{A} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) = \frac{P/A}{g} (MPa)$$

Dengan :

σ'_x : kuat tekan hancur umur x hari, dalam MPa atau dalam kg/cm^2

P : gaya yang ditunjukkan mesin pada saat pengetesan

A : luas permukaan tekan dalam mm^2 atau cm^2

g : percepatan gravitasi ($9,8 m/s^2$)