

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar, sebagai salah satu material penyusun utama dalam campuran beton dan material konstruksi lainnya, memiliki karakteristik fisik dan mekanis yang berpengaruh signifikan terhadap kualitas akhir dari struktur beton. Agregat kasar umumnya adalah batu pecah, kerikil, material alam lainnya, atau secara buatan dengan ukuran partikel yang bervariasi, mulai dari beberapa milimeter hingga beberapa sentimeter. Menurut ketentuan yang terdapat dalam standar ASTM C33, agregat kasar didefinisikan sebagai material berupa batu pecah ataupun kerikil rentang ukuran partikel antara 9,5 mm hingga 37,5 mm. Standar ASTM C 33/03 menetapkan serangkaian persyaratan yang harus dipenuhi oleh agregat kasar. Pertama, agregat kasar wajib tersusun atas butiran yang memiliki kekerasan dan porositas yang minimal. Kedua, butiran agregat kasar harus stabil secara struktural, sehingga tidak mengalami kerusakan atau degradasi akibat pengaruh cuaca. Selanjutnya, agregat kasar tidak diperbolehkan mengandung substansi yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur beton. Terakhir, kadar lumpur tidak boleh melebihi 1% dari total. Jika melebihi batas tersebut, agregat kasar harus menjalani proses pencucian untuk memenuhi standar yang ditetapkan. Berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam standar SNI 1970-2008, agregat kasar diartikan menjadi kerikil yang didapatkan dari proses disintegrasi alami batuan, berbentuk batu pecah yang berukuran butir mencakup rentang dari 4,75 mm (sesuai terhadap saringan nomor 4) hingga 40 mm (sesuai dengan saringan nomor ½ inci).

Adapun persyaratan mengenai proposi gradasi saringan yang di pergunakan untuk campuran beton berdasarkan ASTM C33/03 "*Standard Specification for Concrete Aggregate*"

Tabel 2. 1 Gradasi Ideal Agregat Kasar

Diameter Saringan (mm)	Presentase Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
25.00	100	100
19.00	90 – 100	95
12.50	-	-
9.50	20 – 55	37.5
4.75	0 – 10	5
2.36	0 – 5	2.5

(Sumber : ASTM C 33/03)

2.2 Material Penyusun Agregat Kasar Buatan

Material penyusun agregat kasar ramah lingkungan buatan pada penelitian ini yakni pasir, *fly ash* yang disubstitusikan dengan *silica fume* dan alkali aktivator sehingga menyebabkan reaksi geopolimer.

2.2.1 Abu Terbang (Fly Ash)

Menurut standar SNI 03-6414-2002, abu terbang atau abu terbang dari batubara didefinisikan sebagai sisa pembakaran batubara di tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus dan bulat dan memiliki sifat pozolanik. *Fly ash* termasuk material dengan warna abu-abu serta butiran halus dari proses pembakaran batubara. Secara esensial, pasir halus mengandung unsur kimia seperti oksida kalsium (CaO), oksida besi (Fe₂O₃), alumina (Al₂O₃), silika (SiO₂), dan unsur tambahan seperti karbon, oksida fosfor (P₂O₅), sulfur trioksida (SO₃), alkali (Na₂O dan K₂O), titanium oksida (TiO₂), dan magnesium oksida (MgO).

Abu terbang, juga dikenal sebagai abu terbang, memiliki warna abu-abu kehitaman dan memiliki partikel yang relatif halus yang dapat melewati ayakan No. 325 (45 mikron) sebesar 5–27% dan memiliki berat jenis khusus antara 2,15 dan 2,6 (ACI Committee 226, 1998). Kandungan silika batubara sekitar 80%, dengan sebagian besar silika dalam bentuk amorf. Karakteristik fisik abu terbang batubara termasuk kadar air sekitar 4%, densitas 2,23 gram per cm³, dan komposisi mineral yang sebagian besar terdiri dari mullite dan α -kuarsa. Mengandung SiO₂ sebesar 58,75%, Al₂O₃ sebesar 25,82%, Fe₂O₃ sebesar 5,30%, CaO sebesar 4,66%, alkali

sebesar 1,36%, MgO sebesar 3,30%, dan komponen tambahan sebesar 0,81% (Misbachul Munir, 2008). Tembaga (Cu), seng (Zn), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan kromium (Cr) adalah beberapa logam berat yang ditemukan dalam fly ash batubara.

Menurut panduan *American Concrete Institute (ACI) Committee 116R*, *fly ash* dideskripsikan menjadi sisa pembakaran batu bara dalam bentuk partikel halus yang dibawa oleh gas buang yang berasal dari zona pembakaran kepada sistem pembuangan. (ACI Committee 232, 2004).

Reaksi kimia antara larutan alkalin dan mineral Si-Al menyebabkan polimerisasi beton geopolimer. Proses ini menghasilkan jaringan polimer tiga dimensi dan ikatan struktur yang konsisten dengan susunan Si-O-Al-O (Davidovits, 1991).



Gambar 2. 1 Abu Terbang (Fly Ash)

2.2.2 Alkali Aktivistator

Alkali aktivator adalah zat yang bertanggung jawab untuk mengaktifasi oksida silika dalam fly ash dan memicu reaksi kimia yang menghasilkan pembentukan ikatan polimer. Larutan alkali yang sering digunakan pada beton geopolimer biasanya terdiri dari campuran kalium hidroksida (KOH) atau natrium hidroksida (NaOH) dengan kalium silikat atau natrium silikat. Natrium hidroksida, salah satu jenis alkali aktivator, berfungsi untuk mereaksikan unsur silika (Si) dan alumina (Al) yang ada pada fly ash, yang menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sementara itu, natrium silikat berperan sebagai katalisator yang menjadikan jalannya reaksi kimia lebih cepat. Pada proses menghasilkan beton geopolimer, penggunaan katalisator

juga menjadi hal yang penting. Dalam kajian ini, alkali aktivator yang dipergunakan tersusun atas sodium silikat (Na_2SiO_3) serta sodium hidroksida (NaOH), pada konsentrasi molar. (Adi, 2018).



Gambar 2. 2 Alkali Aktivator

2.2.3 Silica Fume

Untuk menghasilkan campuran silikon dan ferrosilikon, silika fume (SF) digunakan dalam proses pemurnian silika menggunakan batu bara di tanur listrik tinggi (ACI 234R-96). Ini kaya akan silika dioksida (SiO_2) dan memiliki karakteristik khusus yang sangat kecil, sekitar 1/100 kali diameter semen (ACI Committee, 1986; Modul Silica). *Silica fume*, dikenal pula sebagai mikrosilica, merupakan material agregat halus yang kaya akan silika (SiO_2) dengan kandungan minimal 15%. Menurut standar ASTM C.1240-1995, fume silica didefinisikan sebagai material pozzolan yang dihasilkan dari alloy besi silikon atau sisa produksi silikon.

Subakti (2013) dalam penelitiannya menjelaskan peran penting *silica fume* dalam meningkatkan sifat kimia dan mekanik beton, menjadikannya material ideal untuk konstruksi beton berperforma tinggi. Secara kimia, *silica fume* memiliki struktur partikel yang sangat halus, jauh lebih kecil dibandingkan partikel semen. Hal ini memungkinkan *silica fume* untuk mengisi rongga-rongga di antara partikel semen, meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton, dan memperkecil diameter pori. Pengucilan diameter pori dan pengurangan total volume pori ini berimplikasi signifikan pada sifat beton. Beton dengan pori yang lebih kecil umumnya memiliki permeabilitas yang lebih rendah, meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi air, klorida, dan zat agresif lainnya. Hal ini juga berkontribusi pada peningkatan kekuatan tekan, modulus elastisitas, dan ketahanan beton terhadap siklus pembekuan-pencairan.

Sifat mekanik *silica fume* yang paling menonjol adalah kemampuannya untuk bereaksi terhadap kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dihasilkan oleh semen pada proses hidrasi. Reaksi gel ini membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H), gel silika yang merupakan fase utama dalam pasta semen dan memberikan kekuatan beton. Kandungan SiO_2 yang tinggi dalam *silica fume* (sekitar 80-90%) menjadikannya bahan reaktif pozzolan yang sangat efektif. Hidrasi air dan semen dengan adanya *silica fume* menghasilkan C-S-H dengan struktur yang lebih padat dan kuat dibandingkan C-S-H yang terbentuk dari hidrasi semen biasa. Ini meningkatkan kekuatan tekan, kekuatan lentur, dan ketahanan beton terhadap retak secara signifikan.



Gambar 2. 3 *Silica Fume*

2.2.4 Pasir

Agregat halus, sering dikenal sebagai pasir, merupakan material butiran halus dengan diameter maksimum 5 mm yang berperan krusial dalam konstruksi beton. Struktur beton yang lebih padat dan kuat dibuat dengan butiran halus ini yang mengisi celah antara agregat kasar. Selain itu, agregat halus meningkatkan workability campuran beton, membuatnya lebih mudah diaduk dan dituang. Fungsi penting lainnya dari agregat halus adalah memengaruhi kekuatan beton. Kekuatan agregat halus dan paste (campuran semen dan air) mempengaruhi kekuatan beton secara keseluruhan. Agregat halus berkualitas tinggi berkontribusi pada beton yang lebih kokoh dan tahan lama. Di Indonesia, mutu dan cara uji agregat halus diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan nomor SNI 03-1750-1990. Standar ini menetapkan persyaratan minimum untuk berbagai sifat agregat halus, seperti gradasi, kadar lumpur, kebersihan, kekuatan tekan mortar, dan ketahanan alkali-agregat. Sebelum digunakan untuk campuran beton, agregat halus harus diuji untuk memastikan kepatuhannya terhadap SNI. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6820-2002 mendefinisikan agregat halus sebagai material butiran dengan diameter maksimum 4,76 mm, baik yang bersumber dari hasil olahan maupun alam. Agregat halus yang diolah terbuat dari pemisahan dan pecahan butiran melalui penyaringan dan teknik lain dari terak tanur tinggi atau batuan.

SNI SK S-04-1989-F menetapkan kriteria agregat halus yang berkualitas, yaitu:

1. Butiran agregat halus harus tajam, kuat, dan tahan terhadap hujan dan sinar matahari. Uji ini dilakukan dengan larutan garam natrium sulfat dan magnesium sulfat, dengan batas maksimum kerusakan 12% dan 18%, masing-masing
2. Kadar lumpur (butiran halus 0,06 mm) tidak boleh melebihi 5%.
3. Kandungan zat organik harus rendah. Uji warna dilakukan memakai larutan NaOH 3%. Warna larutan yang dibuat dari endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar atau pembanding. Pasir laut dapat menyebabkan korosi pada tulangan beton, jadi tidak boleh digunakan.
4. Berdasarkan standar gradasi, modulus halus butiran harus berkisar antara 1,50 dan 3,80 untuk variasi butiran.

Memenuhi kriteria-kriteria tersebut menjadi kunci agregat halus berkualitas, yang pada gilirannya menghasilkan beton kuat dan tahan lama. Penggunaan agregat halus yang tepat merupakan elemen penting dalam konstruksi bangunan yang kokoh dan tahan banting. Agregat halus berkualitas tinggi merupakan elemen fundamental dalam konstruksi bangunan yang kokoh dan tahan banting.



Gambar 2. 4 Pasir

Agregat halus, juga disebut pasir, dapat diperoleh melalui proses penghancuran batu atau dari sumber alami seperti tambang atau sungai.

Pasir beton adalah partikel mineral yang keras berbentuk bulat dengan kadar partikel yang lebih kecil dari 0,063 mm dan tidak melebihi 5%. Standar ASTM C 33/03 menetapkan persyaratan untuk proporsi agregat ideal sesuai dengan gradasi yang disarankan.

Tabel 2. 2 Gradasi Ideal Agregat Halus

Diameter Saringan (mm)	Presentase Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
9.5	100	100
4.75	95 – 100	97.5
2.36	80 – 100	90
1.18	50 – 85	67.5
0.6	25 – 60	42.5
0.3	5 – 30	17.5
0.15	0 – 10	5

(Sumber : ASTM C 33/03)

Pada penelitian ini, agregat halus dipilih sebagai bahan material penyusun artificial aggregate untuk menggantikan bottom ash yang dipakai dalam penelitian sebelumnya, dengan perbandingan fly ash : bottom ash sejumlah 40% : 60% dari berat total artificial aggregate dalam satu kali pembuatan (Byung, Seung, & Byung, 2004).