

Studi Potensi Limbah Debu Pengolahan Baja (*Dry Dust Collector*) sebagai Bahan Tambah pada Beton

Amalia

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta Kampus UI Depok 16425
email : amaliaiva@yahoo.com

Abstract

This research has the objectives of finding out the concrete properties, which are, workability, unit weight, compressive strength, flexural strength and finding out an optimum composition of dry dust collector waste in the concrete mixture. In this research, 3 different kinds of concrete mixture were created based on the amount of waste substitution in the concrete. The examined concrete mixture compositions were the concrete with water cement ratio = 0.68, with the waste substitution as much as 0%, 10%, and 20% of sand weight. The mechanical behavior of the concrete was tested at the age of 28 days. The research results show that, an addition of dry dust collector waste in the concrete influence concrete workability, unit weight of concrete with 10 % waste as much as 2497,44 kg/m³. The concrete with 10 % waste had the higher unit weight compare with the normal concrete without waste. The dry dust collector waste substitution as much as 10% in the concrete can improve compressive strength and flexural strength concrete. The compressive strength of the concrete increases as much as 21.21%, flexural strength of the concrete increases as much as 3.48%.

Keywords: concrete, dry dust collector waste, compressive strength, flexural strength

PENDAHULUAN

Material yang berbahan dasar semen seperti mortar dan beton harus memiliki distribusi ukuran butiran yang baik dan tidak seragam sehingga dapat memperbaiki workability dan kekuatan beton. Beton yang kekurangan butiran halus dalam agregat menjadi tidak kohesif, mudah bleeding, *workability*nya rendah serta mengurangi kepadatan beton. Untuk mengatasi hal ini, beton ditambahkan bahan tambah mineral (*additive*) berbentuk butiran padat dan halus. Bahan tambah berfungsi sebagai filler yang mengisi rongga-rongga di antara agregat. Penambahan *additive* biasanya dilakukan pada beton kurus, dimana betonnya kekurangan agregat halus dan beton dengan kadar semen yang biasa tetapi perlu dipompa pada jarak yang jauh. Penggunaan bahan tambah dalam jumlah besar terutama digunakan pada jenis beton modern seperti *self compacting concrete* (SCC), dimana pada beton jenis ini harus mempunyai kemampuan memadatkan sendiri. Limbah debu pengolahan baja (*dry dust collector*) merupakan limbah yang berasal dari proses peleburan baja dengan bahan baku besi bekas. Debu ini merupakan limbah hasil pemisahan baja dari unsur pengotor. Debu-

debu baja yang berterbangan ini ditampung di tempat pembuangan limbah. Jumlah limbah yang dibuang cukup besar, yaitu $\pm 2 \text{ m}^3$ per hari dan jumlahnya terus bertambah setiap hari. Sampai saat ini limbah dibiarkan begitu saja di tempat pembuangan dan belum dimanfaatkan secara optimal. Jumlah limbah yang semakin banyak akan berdampak buruk bagi kesehatan terutama pernafasan.

Dari hasil uji laboratorium debu limbah ini mempunyai ukuran butiran 20 -75 mesh, mengandung unsur utama Fe, karbon (C), oksigen (O), natrium (Na), magnesium (Mg), silika (Si), kalsium (Ca), mangan (Mn) dan element lainnya. Secara fisik dan kimia, debu limbah mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada beton. Beberapa hasil penelitian terdahulu menyebutkan bahwa debu limbah pengolahan baja ini dapat digunakan sebagai bahan pengisi pada *conblock* (Murdiani, dkk : 2006), bahan pengisi pada mortar (Amalia dan Handi, 2007) dan filler pada aspal beton (Broto, dkk : 2006).

Dari latar belakang di atas, limbah tersebut sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada beton. Penelitian tentang sifat-sifat beton dengan bahan tambah limbah

debu baja akan memberikan kontribusi pada penggunaan limbah sebagai salah satu bahan tambah beton.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui sifat-sifat beton yang menggunakan bahan substitusi limbah debu pengolahan baja (*dry dust collector*) dan membandingkannya dengan beton tanpa bahan substitusi limbah. Sifat-sifat beton yang diteliti meliputi: workability, berat isi, kuat tekan dan kuat lentur.
2. Mencari komposisi optimum substitusi limbah debu pengolahan baja (*dry dust collector*) pada campuran beton.

Bahan Tambah Pada Beton

Bahan tambah mineral (*additive*) yang ditambahkan pada beton dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja beton. Beton yang kekurangan butiran halus dalam agregat menjadi tidak kohesif dan mudah bleeding. Untuk mengatasi kondisi ini biasanya ditambahkan bahan tambah additive yang berbentuk butiran padat yang halus. Penambahan additive biasanya dilakukan pada beton kurus, dimana betonnya kekurangan agregat halus dan beton dengan kadar semen yang biasa tetapi perlu dipompa pada jarak yang jauh.

Penggunaan additive di dalam campuran beton mempunyai beberapa keuntungan yaitu: memperbaiki workability beton, mengurangi panas hidrasi, mengurangi biaya pekerjaan beton, mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat, mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika, menambah keawetan (durabilitas) beton, meningkatkan kuat tekan beton, meningkatkan usia pakai beton, mengurangi penyusutan, membuat beton lebih kedap air, porositas dan daya serap air pada beton rendah.

Beberapa jenis mineral yang dapat digunakan sebagai bahan tambah beton yaitu : puzzollan, fly ash, steel slag, copper slag dan silica fume.

Bahan-bahan ini biasanya mengandung CaO, SiO₂, Fe₂O₃, FeO, MgO and MnO.

Fly ash

Fly ash merupakan butiran halus hasil residu dari proses pembakaran batubara yang mengandung CaO, SiO₂ dan Al₂O₃. Fly ash yang ditambahkan pada campuran beton akan bereaksi dengan Ca(OH)₂ yang dihasilkan dari proses hidrasi C₃S dan C₂S untuk menghasilkan gel CSH baru. Pembentukan CSH baru pada beton akan dapat memperbaiki kinerja beton. Hal ini terbukti dengan penambahan fly ash sampai 20 % dari berat semen ke dalam campuran beton akan dapat meningkatkan kinerja beton (Supartono, 2005).

Penggunaan fly ash bersama-sama dengan silicafume menghasilkan beton yang mempunyai kinerja lebih baik seperti: meningkatkan workability, meningkatkan kuat tekan, beton lebih kedap air dan lebih tahan terhadap serangan sulfat dibandingkan dengan beton yang menggunakan ordinary portland cement (Indrawati, 2005).

Silicafume

Silicafume merupakan limbah industri silicon metal yang mengandung 85 % - 95 % SiO₂ dengan ukuran butiran 0,1 µm – 1 µm lebih halus dibanding semen portland yang berkisar 5 µm – 50 µm. Kadar silica yang tinggi pada silicafume dapat menjadi aditif mineral yang sangat baik pada pasta semen di dalam campuran beton.

Penambahan silicafume pada campuran beton akan bereaksi dengan Ca(OH)₂ yang dihasilkan dari proses hidrasi C₃S dan C₂S untuk menghasilkan CSH baru. Pembentukan CSH baru ini dapat membentuk ikatan gel yang padat dan sangat kuat di dalam beton. Selain itu ukuran butiran yang sangat halus silicafume akan dapat mengisi rongga-rongga di antara butiran semen sehingga beton menjadi lebih kompak dan padat sehingga kekuatan beton meningkat. Hasil penelitian Supartono (2001) menyebutkan bahwa silicafume sebagai substitusi semen pada

campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Copper Slag

Copper slag merupakan salah satu jenis Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) yang berasal dari limbah pemurnian tembaga. GGBFS dapat berupa iron slag (terak besi), steel slag (terak baja), nickel slag (terak nikel) dan copper slag (terak tembaga). Komposisi GGBFS terdiri dari CaO, SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃. Copper slag dapat digunakan sebagai bahan aditif dan bahan substitusi semen sampai 20 % karena mempunyai komposisi mendekati semen dan harganya lebih murah.

Dari beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa Copper slag sebagai substitusi semen sebesar 5% - 15% dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur beton (B.Mobasher, dkk, 1996). Substitusi copper slag sebesar 10% - 40 % pada w/c 0,30 di dalam campuran beton dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan 60 – 70 MPa (Supartono, 2005).

Limbah Debu Pengolahan Baja (dry dust collector)

Limbah ini berupa debu yang berasal dari proses peleburan baja pada tahap akhir untuk membersihkan kotoran-kotoran pada baja yang sedang diolah. Proses terbentuknya limbah karena pada tungku tanur tinggi diberikan tekanan gas sehingga debu-debu baja terpisah kemudian ditampung di tempat pembuangan.

Secara fisik limbah buangan berupa serbuk/debu yang berbutir halus, berwarna coklat dan memadat seperti tanah bila bercampur dengan air. Dari hasil pengujian di laboratorium, limbah mempunyai berat jenis 3,06, berat isi padat 1070 kg/m³, kadar air 6,20 % dan tingkat kehalusan 94,25 % lolos ayakan 75 mesh. Komposisi kimia limbah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Limbah Debu Pengolahan Baja (Dry Dust Collector)

Komposisi Kimia	Persentase (%)
C	1.24
O	20.05
Na	4.50
MgO	1.66
SiO ₂	2.26
Cl	6.45
K	5.50
CaO	4.09
Mn	2.20
FeO	41.76
Zn	8.19
Pb	3.64

Beberapa hasil penelitian tentang limbah debu PT. Krakatau Steel menunjukkan kinerja yang baik. Hasil penelitian Murdiani, dkk (2006) menyebutkan bahwa dengan penambahan limbah sebesar 8 % pada conblock yang berfungsi sebagai bahan pengisi, menghasilkan conblock dengan kuat tekan paling tinggi (sebesar 35,2 kg/cm²) dibandingkan dengan conblock tanpa limbah. Limbah yang sama, digunakan sebagai filler pada campuran beton aspal menghasilkan campuran yang memenuhi standar Bina Marga (Broto, dkk : 2006). Penggunaan limbah yang sama sebagai substitusi pasir sebesar 2-10 % pada mortar dapat memperbaiki workability dan kuat tekan mortar. Pada komposisi limbah 10 % menghasilkan kuat tekan lebih tinggi 16,25 % dibandingkan mortar tanpa limbah (Amalia dan Handi, 2007).

Limbah debu pengolahan baja yang digunakan sebagai filler pada beton sebesar 10 % - 30 % dapat meningkatkan kuat tekan dan durabilitas beton (H. Moosberg-Bustnes, 2004). Selain meningkatkan kinerja beton, limbah debu baja juga memperlambat proses hidrasi awal pada beton sehingga pengerasan beton lebih lambat (HU Shuguang dkk, 2006). Penggunaan limbah debu baja bersama-sama dengan fly ash pada *self compacting concrete* (SCC) ternyata juga menghasilkan kuat tekan paling tinggi dan penyusutan lebih rendah dibandingkan dengan beton yang hanya menggunakan substitusi fly ash (A Borsoi dkk, 2007).

METODE PENELITIAN

Benda Uji

Penelitian ini menggunakan benda uji beton dengan faktor air semen 0,68, kuat tekan yang ditargetkan sebesar 20 Mpa. Variasi jumlah limbah dry dust collector yang diteliti adalah 0 %, 10 % dan 20 % menggantikan pasir. Sifat-sifat beton yang diteliti terdiri dari : workability (slump), berat isi, kuat tekan dan kuat lentur. Semua benda uji beton keras di *curing* dengan direndam di dalam air pada suhu ruangan sampai umur 28 hari.

Bahan Penelitian

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan pembebanan uniaksial dengan kecepatan pembebanan 2 – 4 kg/cm² per detik pada umur 28 hari. Kuat tekan beton dihitung dengan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{N/mm}^2 \text{ atau kgf/cm}^2$$

Dimana :

σ = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = beban maksimum dalam Newton

A = luas bidang tekan benda uji, mm²

Pengujian Kuat Lentur

Benda uji berupa balok ukuran 15 x 15 x 60 cm diberi beban terpusat 2 titik masing-masing dengan jarak 1/3 L, seperti gambar 2.1. Kuat lentur dihitung dengan rumus :

$$\text{Kuat lentur beton} = \sigma_{lt} = \frac{PL}{bh^2}, \text{ dimana :}$$

P = beban lentur maksimum (Kg)

L = Jarak tumpu (cm)

b = lebar benda uji (cm)

h = tinggi benda uji (cm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Workability Beton Segar

Tingkat kemudahan beton untuk dikerjakan (*workability*) ditunjukkan dengan nilai slump.

Peningkatan nilai berat isi pada beton dengan kadar limbah 10 % disebabkan karena butiran halus limbah mengisi secara optimum rongga diantara agregat halus dan semen sehingga beton menjadi lebih padat. Selain itu berat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen gresik jenis OPC, agregat halus dari jenis pasir alam, agregat kasar jenis batu pecah, limbah debu pengolahan baja (*dry Dust Collector*) PT. Krakatau Steel dan air PAM. Adapun sifat-sifat agregat kasar, agregat halus dan limbah dirangkum pada Tabel 2.

Cara Pengujian Sifat beton keras meliputi: Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil penelitian nilai slump beton disajikan pada Tabel 3.

Salah satu parameter untuk mengukur workability beton adalah nilai slump. Variasi nilai slump disajikan pada Tabel 3. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa penambahan limbah *dry dust collector* sebesar 10 % dan 20 % pada beton ternyata menurunkan nilai slump dari 80 mm menjadi 70 mm. Penurunan nilai slump beton disebabkan karena bentuk kristal limbah yang cenderung pipih dan tidak conical seperti fly ash sehingga tidak memberikan efek pelumasan pada agregat. Namun demikian penurunan nilai slump sebesar 5 – 10 mm pada beton dengan limbah secara umum tidak mempengaruhi workability beton.

Berat Isi Beton

Hasil penelitian berat isi beton kaku disajikan pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 terlihat penambahan limbah sebesar 10 % pada beton menyebabkan peningkatan berat isi beton sebesar 13,84 kg/m³ dari beton tanpa limbah tetapi pada kadar limbah 20 % berat isi beton justru lebih kecil dibandingkan beton tanpa limbah. Berat isi beton berhubungan erat dengan kepadatan beton yang sangat tergantung pada pembuatan dan pemadatan benda uji. jenis limbah yang cukup tinggi (3,03) juga membuat beton lebih berat. Penurunan berat isi pada beton dengan kadar limbah 20 % disebabkan karena proporsi butiran halus pada beton cukup besar justru membuat beton

segar cepat mengental sehingga proses pencetakan dan pemadatan benda uji terganggu. Dilihat dari berat isinya beton tanpa limbah maupun dengan penambahan

Kuat Tekan Beton

Hasil penelitian kuat tekan beton rata-rata disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kuat Tekan Rata-Rata Beton Dry Dust Collector

Kode Benda Uji	Kadar Limbah	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
A	0%	24.91
B	10%	30.2
C	20%	26.42

Kuat tekan beton tanpa limbah sebesar 24,91 Mpa. Dari Tabel 5 terlihat nilai kuat tekan beton meningkat menjadi 30,20 Mpa pada penambahan limbah sebesar 10 % atau meningkat sebesar 21,21 % dibandingkan beton tanpa limbah, tetapi pada kadar limbah 20 % kuat tekan beton turun menjadi 26,42 MPa. Namun demikian nilai kuat tekan ini lebih tinggi sebesar 6,06 % dibandingkan beton tanpa limbah. Kondisi ini terjadi karena karena butiran halus limbah mengisi secara optimum rongga diantara agregat halus dan semen sehingga beton menjadi lebih padat dan kuat tekannya naik.

Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian B. Mobasher M. ASCE, R. Devaguptapu, A.M. Arino (1996) yang menyatakan bahwa kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh beton dengan kadar debu *copper slag* optimum sebesar 10 % dari berat PC dengan activator kapur sebesar 1 %. Hal yang sama juga dihasilkan oleh penelitian Suryadi, Akhmad (2007) yang menggunakan debu pasir besi dengan kadar Fe_2O_3 sebesar 54,3 %, SiO_2 sebesar 29,95 % dan MgO sebesar 5,12 % sebagai filler pada beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan substitusi 10 % debu pasir besi pada umur 28 hari kuat tekannya meningkat sebesar 9,34 %. Penelitian pada mortar yang

limbah masih termasuk dalam batasan berat isi beton normal yaitu sebesar 2400 – 2500 kg/m^3 .

menggunakan limbah *dry dust collector* sebagai bahan pengisi juga menghasilkan kadar optimum limbah sebesar 10 %, dimana mortar dengan substitusi limbah 10 % menghasilkan kuat tekan mortar sebesar 178,67 kg/cm^2 lebih tinggi dibandingkan kuat tekan mortar tanpa limbah yaitu sebesar 160,67 kg/cm^2 (Amalia dan Handi, 2007).

Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton merupakan kemampuan beton di dalam menahan momen. Nilai kuat lentur beton hasil penelitian dibandingkan dengan kuat lentur yang dipersyaratkan SNI 03-2846 (2002) pasal 11.5 yaitu sebesar $F_r = 0,7\sqrt{f'c}$. Hasil penelitian kuat lentur beton disajikan pada Tabel 6.

Dari Tabel 6 terlihat bahwa penambahan limbah sebesar 10 % di dalam campuran beton dapat meningkatkan kuat lentur beton. Pada beton dengan kadar limbah 10 % kuat lentur beton mengalami peningkatan dari 5,11 MPa menjadi 5,29 MPa naik sebesar 3,48 % dari beton tanpa limbah. Pada penambahan limbah 20 % kuat lentur beton turun sebesar 8,49 % menjadi 4,71 MPa dibandingkan beton tanpa limbah.

Peningkatan kuat lentur beton berhubungan erat dengan kuat tekan beton. Beton dengan kuat tekan tinggi cenderung mempunyai kuat lentur tinggi. Hal ini terbukti dari hasil penelitian ini ternyata kuat lentur beton tertinggi dicapai oleh beton dengan kadar limbah 10 % dimana kuat tekan beton pada komposisi ini juga paling tinggi. Nilai kuat lentur beton hasil penelitian untuk semua komposisi lebih tinggi dibandingkan dengan kuat lentur menurut formulasi yang ditetapkan SNI-03-2847 (2002) pasal 11.5 yaitu sebesar $F_r = 0,7\sqrt{f'c}$.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan limbah *dry dust collector* sebesar 10 % dan 20 % pada beton menurunkan nilai slump sebesar 10 mm.
2. Dilihat dari berat isinya beton tanpa limbah maupun dengan penambahan limbah masuk dalam batasan berat isi beton normal yaitu sebesar 2400 – 2500 kg/m³.
3. Pada penambahan limbah sebesar 10 % untuk beton dengan fas 0,68 kuat tekan beton meningkat sebesar 21,21 %, sedangkan pada kadar limbah 20 % kuat tekan beton naik sebesar 6,06 % dibandingkan beton tanpa limbah.
4. Kuat lentur beton mengalami peningkatan sebesar 3,48 % pada beton dengan kadar limbah 10 % dibandingkan dengan beton tanpa limbah. Pada penambahan limbah 20 % kuat lentur beton turun sebesar 8,49 %. Nilai kuat lentur beton hasil penelitian untuk semua komposisi lebih tinggi dibandingkan dengan kuat lentur menurut formulasi yang ditetapkan SNI-03-2847 (2002) pasal 11.5.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A Borsoi, etc, 2007. *Low-Heat, High Strength, Durable Self Consolidating Concrete*. NINTH CANMET/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology. Warsaw, Poland.
- [2] Amalia dan Handi S, 2007. *Karakteristik Mortar dengan Bahan Pengisi Sebagian Limbah Debu Pengolahan Baja*. Laporan Akhir Penelitian DIPA Politeknik Negeri Jakarta .
- [3] B. Mobasher1 M. ASCE, and R. Devaguptapu, A.M. Arino. 1996. *Effect of Copper Slag on the Hydration of Blended Cementitious Mixtures*.

SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian penggunaan *dry dust collector* bersama-sama dengan kapur yang berfungsi sebagai aktivator, sehingga limbah dapat digunakan sebagai bahan cementitious pada beton.
 2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencari komposisi optimum limbah pada beton dengan nilai faktor air semen yang berbeda.
 3. Penelitian ini hanya terbatas pada umur beton 28 hari, sedangkan perilaku beton jangka panjang belum bisa diprediksi. Dari beberapa hasil penelitian terdahulu ternyata pada umur di atas 28 hari ternyata beton dengan bahan tambah yang banyak mengandung FeO terjadi peningkatan kuat tekan yang drastis. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian pada umur beton di atas 28 hari.
 4. Perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui durabilitas beton dan ketahanan beton terhadap lingkungan agresif serta tingkat keamanan apabila limbah digunakan pada beton secara umum.
 5. Perlu dilakukan penelitian perilaku beton limbah *dry dust collector* terhadap beban triaksial.
- Proceedings, ASCE, Materials Engineering Conference, Materials for the New Millenium, ed. K. Chong, pp. 1677-86
 - [4] Broto AB, Amalia dan Sudardja H, 2006. *Karakteristik Aspal Beton dengan Filler Limbah Abu Pengolahan Logam*. Jurnal Politeknologi Vol. 5 No. 2. Jakarta : Politeknik Negeri Jakarta.
 - [5] H. Moosberg-Bustnes, 2006. *Steel Slag as Filler Material in Concrete*. VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts. The South African Institute of Mining and Metallurgy.
 - [6] HU Shuguang, HE Yongjia, LU Linnu, DING Qingjun, 2006. *Effect of Fine Steel Slag Powder on the Early*

Hydration Process of Portland Cement.
Journal of Wuhan University of
Technology - Mater. Sci. Ed. Vol. 21 No.
1.

- [7] Indrawati, V, 2005. *Semen dan Aplikasinya dalam Proyek-Proyek Infrastruktur.* Jakarta : Makalah Seminar Nasional Universitas Indonesia.
- [8] Murdiani KM, Nendi A, Armando P dan Fitri MY, 2006. *Pemanfaatan Limbah Gas Kolektor PT. Krakatau Steel Cilegon*

Sebagai Bahan Campuran Conblock.
Laporan PKMP Politeknik Negeri
Jakarta.

- [9] Supartono, FX, 2005. *Kecenderungan Masa Depan Teknologi Beton Berkinerja Tinggi.* Jakarta : Makalah Seminar Nasional Universitas Indonesia.
- [10] Suryadi, Akhmad, 2007. *Hubungan Tegangan Regangan Beton Mutu Tinggi dengan Pasir Besi Sebagai Cementitious.* Abstraksi. Surabaya : ITS.

Tabel 2. Sifat-Sifat Agregat Kasar, Halus dan Limbah Dry Dust Collector

Sifat-Sifat Pasir	Nilai		
	Pasir	Kerikil	Limbah Dry Dust Collector
Berat Jenis SSD	2.67	2.67	3.06
Berat Isi padat, (kg/lt)	1.37	1.49	1.07
Berat Isi gembur, (kg/lt)	1.33	1.41	0.93
Penyerapan Air, %	0.50	0.50	2.25
Kadar Air, %	4.49	1.11	6.61
Analisa Ayak	Zone 2	Butiran mak 30 mm	94.29 % lolos ayakan 0,075 mm
Modulus Halus Butir	2.84	7.16	
Kadar Lumpur, %	1.25		

Tabel 3. Nilai Slump Beton Segar

Perlakuan	Kadar Limbah	Nilai Slump (mm)
A	0%	80
B	10%	70
C	20%	70

Tabel 4. Berat Isi Beton Dry Dust Collector

Kode Benda Uji	Kadar Limbah	Berat Isi Rata-rata (Kg/m ³)
A	0%	2483.6
B	10%	2497.44
C	20%	2447.12

**Tabel 6. Kuat Lentur Rata-Rata Beton dengan Substitusi
Dry Dust Collector**

Kadar Limbah	Kuat Lentur Rata- rata (MPa)	Kuat Lentur Beton (MPa) Menurut SNI 2002	$\frac{Fr_{Exp}}{Fr_{SNI}}$
0%	5.11	3.49	1.46
10%	5.29	3.85	1.37
20%	4.71	3.6	1.31