

**PEMANFAATAN LIMBAH PROSES PEMBUATAN BAJA SEBAGAI
PENGANTI SEBAGIAN AGREGAT ALAM**

***(UTILIZATION OF STEEL MANUFACTURING WASTE AS AGGREGATE
REPLACEMENT)***

Suharwanto¹, Enri D²

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Wiralodra, Indramayu

²Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung

Abstract

Concrete is a material composite between fine and coarse aggregates which paste of cement and water as a binder of aggregates that were took from natural source, so they are can affected to environment damage. In the other case, the industrial of PT. Krakatau Steel has produced of Steel Waste, such as dust was produced from Electric Arc Furnace (EAF), Slurry from Cold Rolling Mill (CRM) and DR Plant, and gangue from process of spon and billet. They could be affected or damage an environment. Reusing of them can solved of damage, affected to environment, and needed disposal area, so they are may use for the other product in order not to affect environment. As a problem solving, the steel manufacturing waste must be process to the other product or it can be used as natural aggregate replacement in the concrete. Reuse the steel manufacturing waste can reduce dispose material, exploitation material, environmental affected, and disposal area. The first research will be find characteristics of each steel manufacturing waste and containing percentage in the concrete. The result of them indicate that their specification of them are closely the original aggregate. Therefore, the steel manufacturing waste can be used as reducer a part of original aggregate and cement in the concrete, but the strength is lower that original concrete. In other testing (such as concrete culvert, cansteen, slab and beam) indicates that the concrete has a good performance, so that the concrete can be recommended for structures in civil engineering.

Key words : aggregate, gangue, and concrete material, EAF, Slurry of CRM and DR Plant.

Abstrak

Beton adalah material komposit antara agregat (kasar dan halus) dan semen serta air sebagai bahan pengikatnya yang diambil dari alam, sehingga peningkatan kebutuhan agregat alam akan mengganggu lingkungan. Di lain pihak buangan limbah (padat dan cair) dari kegiatan industri seperti di PT. Krakatau Steel yang memproduksi debu EAF yang di peroleh dari sisa pembuatan pelat (*Slab*) baja dan billet yang ditangkap di deducting plant, lumpur (*Slurry*) berupa CRM yang diperoleh dari pendinginan pelat (*Cold Rolling Mill*) dan DR Plant yang diperoleh dari pembuatan besi Spons dari bahan baku pellet, dan dan batu gangue yang diperoleh dari sisa pembakaran besi Spons dan ini juga akan mengganggu lingkungan atau berdampak buruk bagi lingkungan sekitarnya dan membutuhkan lahan pembuangan, sehingga limbah tersebut harus diolah menjadi bahan lain atau sebagai bahan pengganti sebagian semen dan agregat alam (halus dan kasar). Pemanfaatan bahan limbah dapat mengurangi limbah buangan dan mengurangi eksploitasi agregat alam, pencemaran lingkungan dan lahan tempat pembuangan limbah. Penelitian diawali dengan mengetahui karakteristik untuk masing-masing limbah tersebut dan prosentase kandungannya di dalam beton. Hasil penelitian masing-masing limbah tersebut ternyata mendekati karakteristik bahan-bahan pembentuk beton. Dengan demikian, limbah tersebut dapat di jadikan sebagai bahan pengganti sebgai material pembentuk beton, namun mutu yang dicapai lebih kecil dari beton dengan agregat alam. Pada pengujian lain yang berupa pelat dan balok beton ini juga mempunyai kinerja yang baik untuk dijadikan material non-structural (seperti gorong-gorong dan kansteen) dan structural (seperti pelat dan balok).

Kata kunci : agregat, batu gangue, material pembentuk beton, debu EAF, Slurry CRM dan DR Plant.

I. PENDAHULUAN

Beton adalah material komposit antara agregat (kasar dan halus) dan semen serta air sebagai material pengikat agregat dan materil beton juga banyak digunakan dalam pembangunan gedung, jembatan dan jalan raya. Hal ini disebabkan bahan-bahan dasar pembentuk beton dapat dengan mudah diperoleh dan murah harganya. Tidak perlu perawatan yang khusus, dan mudah dibentuk, sehingga berdampak pada eksploitasi secara besar-besaran terhadap material alam tersebut dan apabila penggunaan material tersebut secara terus menerus, maka dapat berakibat alam menjadi tidak seimbang dan rusak.

Di lain pihak kegiatan produksi seperti PT. Krakatau Steel sebagai salah satu industri penghasil baja terbesar di Indonesia sering menimbulkan masalah berupa limbah buangan. Limbah tersebut dapat berupa cair atau padat. Berdasarkan peraturan pemerintah adalah bahwa limbah tersebut harus diolah atau diproduksi sebagai produk sampingan agar lingkungan tetap bersih dan bahan tersebut dapat bermanfaat.

Kedua permasalahan tersebut diatas perlu dicari solusinya, maka melalui penelitian ini limbah dari produksi baja tersebut akan digunakan sebagai bahan pengganti sebagian material pembentuk beton atau agregat. Dengan demikian pemanfaatan limbah tersebut dapat mengurangi kerusakan lingkungan akibat bahan limbah buangan, biaya dan lahan pembuangan dan dapat mereduksi eksploitasi agregat alam.

Penelitian ini diawali dengan melakukan kajian terhadap uji karakteristik material limbah tersebut, kemudian menguji kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas, dan berat volume beton, sehingga parameter material dapat terukur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Agregat Alam

Agregat alam adalah salah satu material pembentuk beton yang berasal dari alam. Berdasarkan ukurannya agregat alam ini terdiri dari agregat halus atau pasir dan agregat kasar atau batu pecah. Pasir diperoleh dari endapan sungai atau batu pecah diperoleh dari hasil pemecahan batu gunung. Ukuran agregat kasar ini tergantung

pada fungsi beton, yaitu untuk pelat, balok, kolom, pondasi, bendungan, dan perkerasan kaku jalan raya yang masing-masing dapat berbeda-beda ukurannya.

2.2. Pengertian Limbah Proses Pembuatan Baja

Limbah proses pembuatan baja merupakan limbah padat yang dihasilkan oleh PT Krakatau Steel pada saat melakukan proses produksi baja. Limbah tersebut adalah berupa :

- a. Debu EAF diperoleh dari proses pembakaran besi pelat dan billet yang ditangkap oleh deducting dan selanjutnya di tampung. Limbah ini sangat berbahaya bagi pernafasan apabila dibiarkan terlepas bebas di udara, Karena bentuk butirannya yang sangat halus.
- b. Lumpur CRM diperoleh dari proses pendinginan pelat (Coll Rolling Mill) atau CRM yang menggunakan asam HCL. Oleh karena itu ,limbah tersebut dinamakan CRM. Sedangkan DR Plant diperoleh dari proses pembuatan spons dan Billet.
- c. Batu Gangue diperoleh dari sisa hasil pembakaran spons dan Billet. Limbah ini menyerupai batu, maka limbah tersebut disebut Batu Gangue.

2.3. Pengertian Beton Normal (Original)

Beton normal (original) adalah beton yang menggunakan agregat batu alam (pasir dan batu) sebagai bahan dasarnya. Beton banyak digunakan oleh orang sebagai konstruksi gedung, jembatan, bendungan dan bangunan lepas pantai. Hal ini dikarenakan beton memiliki banyak keuntungan, seperti materialnya mudah didapat di sekitar pembuatnya, mudah dibentuk, tahan terhadap api, dan relatif tidak memerlukan perawatan khusus.

2.4. Pengertian Beton Limbah

Beton limbah adalah beton yang bahan pembentuknya dibuat dari limbah, dimana di dalam penelitian ini, limbahnya diperoleh dari proses pembuatan baja di PT. Krakatau Steel. Limbah-limbah ini digunakan sebagai pengganti sebagian material alam (batu dan pasir) dalam beton. Hal ini dimaksudkan agar beton mempunyai nilai ekonomis tinggi (ada harga jualnya). Disamping itu juga, biaya penanganan (penyiapan lahan dan buangan) limbah dapat ditiadakan.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Metode penelitian

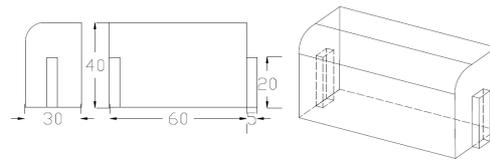
Pelaksanaan penelitian ini didasarkan atas peraturan-peraturan yang sudah biasa digunakan, seperti dari ASTM 1996 dan SNI. Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian ini antara lain :

1. **Pekerjaan persiapan**, meliputi studi literatur terhadap buku-buku panduan yang berhubungan dengan kegiatan penelitian sebelum membuat benda uji dan pengertesannya. Selain itu, perlu dilakukan peninjauan di lapangan dan pengambilan material limbah dari sumbernya untuk dijadikan benda uji dari berbagai jenis sesuai dengan identifikasi limbah proses pembuatan baja tersebut di atas. Selanjutnya material tersebut diuji untuk mendapatkan karakteristiknya, diantaranya adalah : sifat-sifat fisik dan kimia (berat jenis, kadar air, penyerapan air, kekerasan agregat, gradasi, soundness, dan alkali reaktif).

2. **Pekerjaan Pengujian Tekan, Tarik, Modulus Elastisitas Beton**, untuk melengkapi data mengenai sifat-sifat beton sebagai dasar kriteria untuk pembuatan gorong-gorong, kansteen, pelat lantai jalan, dan balok.

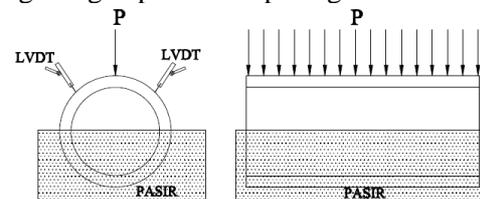
3. **Pekerjaan Pengujian Produk Beton**, meliputi kiat tekan dan lentur dan lainnya pada antara lain :

a. **Kansteen**, merupakan bahan bangunan Infastruktur yang berbentuk block beton (lihat gambar 1) yang berfungsi untuk pembatas (median) jalan raya atau pembatas antara trotoar dan jalan atau pembatas lapangan parkir. Perencanaan pembuatan dan dimensi kansteen berdasarkan ACI 330R-92. Dimensi dan bentuk geometri kansteen dapat dilihat pada gambar 1. Uji produk ini dilakukan terhadap kuat tekan, kuat lentur dan abrasi/gerusan. Dasar pengujian Produk tersebut adalah ACI 330R-92. Uji tekan meliputi uji tekan arah vertical dan horizontal. Pengujian tekan pada kansteen dilakukan dengan memotong sebagian kecil dari benda uji tersebut atau dengan mengcore-drill, kemudian potongan atau hasil core-drill tersebut ditekan hingga hancur.



Gambar 1. Bentuk Geometri dan Dimensi Kansteen

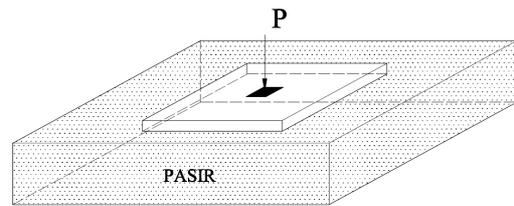
b. **Gorong-gorong**, merupakan bahan bangunan infrastruktur yang berbentuk silinder berlubang (pipa) beton yang berfungsi untuk saluran air seperti halnya pipa air. Dasar pembuatan dan Pengujian produk tersebut adalah ACI 346R-90. Uji Produk gorong-gorong tersebut berdasarkan ACI 346R-90 dan dilakukan terhadap beban-defleksi yang dikenakan pada beban garis di sepanjang pipa beton (gorong-gorong). Hal ini menstimulasikan beban yang terjadi di lapangan pada saat gorong-gorong tersebut menerima beban di atasnya berupa tanah dan beban-beban yang lainnya. Pematuran pengujian gorong-gorong dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pengaturan pengujian kuat tekan beton Gorong-gorong.

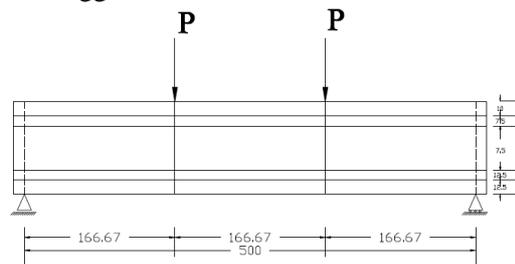
c. **Pelat perkerasan kaku jalan raya (rigid pavement)**, merupakan bentuk struktur pelat yang berbentuk lembaran pelat beton dengan tulangan satu lapis atau dua lapis di dalam beton sebagai penahan gaya lentur pelat akibat adanya beban roda kendaraan dan untuk mengendalikan atau mendistribusikan lebar retak akibat adanya perubahan temperatur (memuai atau menyusut) an berfungsi untuk menggantikan perkerasan aspal yang biasa kita gunakan. Perkerasan kaku ini lebih menguntungkan untuk tanah yang mempunyai nilai CBR (California Bearing Ratio) kecil atau nilai kekerasan yang sangat kecil atau tanah yang lebih lunak atau lembek. Disamping itu,

perkerasan kaku mempunyai kekasaran permukaan yang lebih tinggi, sehingga jalan tidak licin dan tahan lama. Tetapi perkerasan kaku ini harus mempunyai ketahanan terhadap gerusan akibat adanya beban rem kendaraan dan dimensi pelatnya tidak boleh terlalu lebar, karena mempunyai nilai susut yang tinggi dan kurangnya ketegaran terhadap retak, sehingga perlu dipisahkan dengan bahan deletasi (pada umumnya karet atau campuran aspal dan pasir). Dasar pembuatan atau perencanaan (design) adalah ACI 302.IR-89, ACI325.6R-88, dan ACI 306R-92. Uji produk pelat perkerasan kaku ini berdasarkan ACI 302.IR-89, ACI 325.6R-88, dan ACI 360R-92. Pengujian beban defleksi pada pelat perkerasan kaku adalah berupa beban terpusat yang menggambarkan beban roda kendaraan (gambar 3). Metode-metode yang digunakan untuk menganalisis pelat yang ditumpu di atas tanah dan dibebani beban terpusat roda adalah serupa dengan metode yang telah dikembangkan untuk gelagar yang terletak di atas pondasi elastis. Biasanya pelat tersebut dianggap bersifat homogen, isotropis dan elastis, sedangkan lapisan tanah dibawah pelat dianggap hanya dapat memberikan reaksi vertikal yang besarnya berbanding lurus dengan lenturan yang terjadi. Sedangkan set up pengujian pelat perkerasan yang terjadi. Pegaturan pengujian pelat perkerasan kaku dapat dilihat pada gambar 3. Pengujian yang dilakukan dengan cara meletakkan pelat tersebut diatas pasir urug, untuk menstimulasikan pelat perkerasan kaku yang ada sebenarnya kenyataan di lapangan. Disamping itu, pengujian pelat ini dilakukan hingga terjadi retak dengan lebar kurang lebih 5 mm. Hal ini disebabkan pada lebar retak tersebut dimungkinkan akan terjadi korosi terhadap besi tulangan yang relatif lebih cepat.

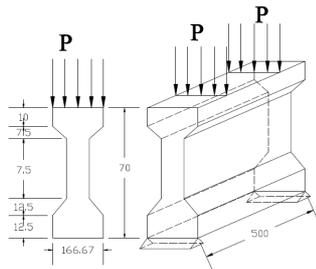


Gambar 3. Pengaturan pengujian lentur pelat perkerasan kaku jalan raya.

d. **Balok I**, merupakan sebuah struktur balok yang berfungsi sebagai gelagar atau topangan sepanjang bentang jembatan atau selebar sungai dan berfungsi juga untuk memikul beban-beban berupa berat sendiri jembatan, berat aspal, dan berat kendaraan yang lewat di atasnya. Struktur ini merupakan struktur utama jembatan setelah pondasi jembatan (abutment). Dasar perencanaan pembuatan struktur balok I ini adalah ACI 340-4R dan standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan Gedung SK-SNI-T-15-1991-03. Bentuk geometri, dimensi dan pengaturan pengujian balok I dapat dilihat pada gambar 4. Uji produk balok I berdasarkan ASTM C.78-94. Pengujian beban-defleksi pada balok I berupa beban terpusat yang menghasilkan kondisi kombinasi beban lentur dan geser. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kapasitas penampang untuk menahan atau memikul beban layan hingga runtuh atau hancur.



a. Tampak samping pengaturan pengujian balok I



b. Bentuk geometri pengaturan pengujian benda uji balok I

Gambar 4. Bentuk geometri, dimensi dan set-up pengujian balok I sebagai gelagar memanjang.

3.2 Parameter Pengujian

Parameter pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Kuat Tekan Beton
- b. Umur Beton

3.3 Benda Uji

Agar data pengujian memperoleh hasil yang optimum dengan dan akurat, maka pada penelitian ini dilakukan pemodelan benda uji yang dapat merepresentasikan kondisi beton di lapangan pada saat digunakan sebagai infrastruktur dan struktur beton yang sesungguhnya dengan kriteria:

- Untuk mendapatkan nilai kuat tekan, modulus elastisitas dan berat volume beton dibuat benda uji berupa silinder beton.
- Untuk infrastruktur yang di uji berupa gorong-gorong dan kansteen. Hal ini dikarenakan bentuk tersebut paling sering digunakan pada masyarakat luas, sehingga pemanfaatan limbah tersebut menjadi lebih optimal.
- Untuk benda uji struktur berupa pelat perkerasan kaku dan balok I. Hal ini disebabkan bentuk tersebut dapat mempresentasikan elemen struktur secara global.

3.4 Pengujian Material

1) Analisis Semen Portland dan debu EAF.

Semen portland yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland tipe I. Analisis dilakukan terhadap sifat-sifat kimia yang meliputi kandungan silika (SiO₂), alumina (AL₂O₃), magnesia (MgO), sulfur Trioksida(S₃), alkali,hilang pijar dan sifat-sifat fisik yang meliputi berat jenis, kehalusan, berat volume, jumlah pengikatan

air, dan temperatur sedangkan debu EAF dapat dilihat pada Tabel 1 yang menunjukkan sifat-sifat fisik dan kimia pada semen dan debu EAF. Debu EAF mempunyai nilai kehalusan yang lebih tinggi dari pada semen. Sedangkan nilai kehalusan yang disyaratkan ASTM C-150-1996 adalah 2800. Kandungan zat-zat kimia yang ada di dalam debu EAF juga relatif sama dengan semen. Oleh karena itu, Debu EAF dapat dijadikan sebagai pengganti sebagian semen dan diharapkan dapat mengisi rongga-rongga yang kosong atau pori-pori, sehingga beton akan lebih padat. Dengan demikian mutu beton akan lebih baik.

Tabel 1. Sifat – sifat Fisik dan Kimia Semen dan Debu EAF.

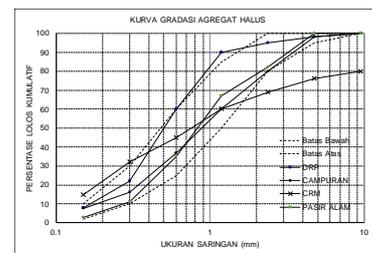
Parameter	Semen	Debu EAF
Kehalusan (SSA), cm ² /gr	2910	3019
Waktu pengikatan awal,menit	141	880
Waktu pengikatan akhir,menit	285	1260
Alkalis(Na ₂ K ₂ O),% +	0,00	Tidak terdeteksi
Hilang pijar, %	0,90	2,380
Spesific gravity	3,15	3,699
Angka kehalusan	1,16	2,042
S _i O ₂ , %	21,20	3,45
Al ₂ O ₃ , %	6,00	0,80
Fe ₂ O ₃ , %	3,10	45,54
C _a O, %	64,90	8,16
MgO, %	1,20	3,16

2) Analisis Agregat

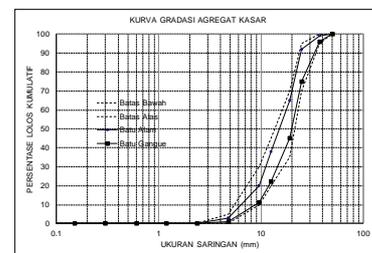
Agregat menempati sekitar 70 hingga 75 % dari volume beton, sehingga agregat sangat berpengaruh pada mutu beton, hal ini adalah kekuatan agregat, gradisi, bentuk permukaan, ukuran maksimum agregat, dan keausan. Sifat-sifat tersebut adalah sifat-sifat fisik agregat. Hasil uji limbah produksi baja berupa CRM, DRP dan campuran antara DRP dan CRM relative sama dengan agregat kasar (batu atau pasir), maka limbah tersebut dapat dijadikan sebagai agregat pembentuk beton yang merupakan pengganti agregat kasar dan halus atau batu dan pasir. Hasil yang diperoleh untuk agregat halus dan beberapa limbah padat proses pembuatan baja dapat dilihat padaTabel 2 dan Gambar 5 yang

menunjukkan kurva gradasi agregat halus dan limbah dan hanya DRP yang agak halus dibandingkan dengan yang lain. Sedangkan CRM agak kasar dibandingkan dengan yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa limbah tersebut sebelum di gunakan sebagai bahan pengikat agregat harus dicampur atau diolah lagi sehingga memenuhi persyaratan ASTM dan penyebaran butiran di dalam beton juga baik. Selanjutnya pengujian untuk agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3 dan gambar 6. yang menunjukkan hasil pengujian karakteristik limbah dan batu pecah yang akan dijadikan sebagai agregat kasar dalam beton. Berdasarkan data diatas, limbah tersebut relatif sama dengan batu pecah, sehingga limbah tersebut layak digunakan sebagai bahan pengganti sebagian batu alam. Disamping itu Gambar 6 menunjukkan kurva gradasi agregat kasar berupa batu pecah dan limbah batu gangue dan dari gambar tersebut menunjukkan semua kurva menunjukkan batasan-batasan ASTM, sehingga limbah dan batu pecah tersebut dapat digunakan sebagai material pengganti sebagian batu alam dalam beton.

Berat volume padat (kg/lt)	1,409	1,630
Berat volume gembur (kg/lt)	1,284	1,446
Agregat maksimum (mm)	20,00	20,00
Kadar lumpur (%)	0,5	0,4
Angka kehalusan	6,56	7,188
Kadar air (%)	0,7001	0,6173



Gambar 5. Analisa Saringan Agregat Halus.



Gambar 6. Analisa Saringan Agregat Kasar.

Tabel 2. Sifat – Sifat fisik agregat halus.

Jenis Pengujian	Pasir	Limbah CRM	Limbah DRP	Limbah Campuran DR- CRM
Apparent specific gravity	2,8075	3,852	3,881	3,914
Bulk specific gravity(kering)	2,2445	3,708	3,421	3,000
Bulk specific gravity (SSD)	2,445	3,745	3,332	3,233
Absorpsi of water (%)	8,931	1,01	-	7,823
Berat volume padat (kg/lt)	1,558	1,9055	0,9925	2,105
Berat volume gembur (kg/lt)	1,395	1,8285	0,896	1,925
Agregat maksimum (mm)	4,750	4,750	4,750	4,750
Kadar Lumpur (%)	2,5	-	-	-
Angka kehalusan	3,114	6,295	3,00	5,321
Kadar air (%)	12,74	7,773	89,43	2,464

Tabel 3. Karakteristik Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Batu Alam	Batu Gangue
Apparent specific gravity	2,701	3,121
Bulk specific gravity (kering)	2,314	2,608
Bulk specific gravity (SSD)	2,457	2,772
Absorpsi of water (%)	6,175	6,306

3) Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Pengujian kuat tarik baja tulangan dilakukan dengan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*). Tujuan Pengujian ini adalah untuk mengetahui kuat tarik leleh atau mutu baja. Dengan demikian, data tentang sifat fisik material tersebut dapat diketahui secara pasti, sehingga perhitungan model benda uji dapat mendekati kenyataan dan dapat diperoleh dimensi benda uji yang akurat dan optimal. Diameter besi tulangan yang digunakan adalah diameter 8 mm dan berjenis polos untuk tulangan geser atau sengkang dan diameter 16 mm dan berjenis ulir untuk tulangan memanjang atau lentur. Berdasarkan hasil uji untuk besi tulangan berdiameter 8 mm adalah diameter aktual = 7.85 mm, tegangan leleh = 236,12 MPa, dan regangannya = 0,00186. Sedangkan hasil uji besi tulangan berdiameter 16 mm adalah diameter aktual = 15,30 mm, tegangan leleh = 336,67 MPa, dan regangannya = 0,00252.

3.5 Perencanaan Campuran (Mix Design) Beton

Hasil uji sifat-sifat karakteristik terhadap agregat dan limbah di atas digunakan sebagai data masukan dalam perencanaan campuran beton. Perhitungan perencanaan ini untuk mendapatkan komposisi bahan-bahan pembentuk beton yang proposional, sehingga beton yang diperoleh mempunyai mutu yang baik dan sesuai dengan rencana. Komposisi campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode ACI 211.4-R-93. Hasil Komposisi campuran beton untuk kuat tekan rencana sebesar ($f'c$) = 35 MPa dapat dilihat pada Tabel 4 . Hasil komposisi campuran beton tersebut selanjutnya dijadikan sebagai acuan untuk pembuatan benda uji, berupa silinder tekan beton, Kansteen, gorong –gorong, dan balok I.

Tabel 4 . Komposisi Campuran Beton untuk 1 m³

Kode Campuran	Berat Binder (kg)		Berat Agregat Halus (kg)			Berat Agregat Kasar (kg)		Air (kg)
	P C	E A F	Pasir	Campuran CRM dan DRP	DRP	Batu Pecah	Batu Gangu	
I	368	65	683	-	-	171	788	234
II	368	65	417	-	424	859		87
III	368	65	506	410		213	575	252
IV	432	-	695	-	-	852	-	226

3.6 Pembuatan Dan Pengujian Benda Uji

a. Pembuatan benda uji Insfastruktur (Kansteen dan gorong-gorong) dan Elemen Sruktur (Pelat perkerasan kaku dan balok I) yang di uji berjumlah masing-masing 4 buah yang berbeda jenis campuran betonnya hanya untuk benda uji kuat tekan silinder dan kansteen, namun benda uji untuk gorong-gorong, pelat dan balok I masing-masing hanya dibuat 1 buah benda uji saja.

- b. Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan menggunakan UTM (Universal Testing Mechine). Pengaturan Pengujian untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada gambar 7,8,9 dan 10. Pembebanan tekan diberikan secara bertahap dengan sistem pengaturan terhadap laju pembebanan (Load Control). Pengujian dilakukan hingga benda uji tersebut mengalami keruntuhan.
- c. Pencatatan Data dilakukan dengan alat Data Logger yang dapat merekam data pembebanan dan defleksi secara bersamaan yang meliputi :
 - Beban pada benda uji
 - Penurunan pada benda uji
 - Regangan tulangan pada pengujian balok I

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Modulus Elastisitas dan Berat Volume Beton, dilakukan untuk mendapatkan data karakteristik beton (beton original dan beton limbah) yang akan digunakan sebagai dasar dalam perencanaan struktur beton, yaitu sebagai input data dalam perhitungan struktur baik pererhitungan secara manual maupun secara numerik. Uji berat volume beton sangat penting untuk mengetahui berat beton pada setiap 1 m³. Berat volume ini berfungsi untuk data dasar perencanaan struktur, yaitu perencanaan berat sendiri struktur. Pengujian berat volume ini dilakukan terhadap beton segar dan beton kering/keras. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan hasil uji tersebut ternyata bahan-bahan limbah yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat alam (batu pecah dan pasir) dan sement di dalam beton menghasilkan beton yang cukup baik yang ditunjukkan oleh hasil-hasil ujilaboratorium. Selain itu, uji laboratorium ini juga meliputi : kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, dan abrasi. Hasil uji ini selengkapnya ditunjukkan dalam Tabel 5 untuk masing-masing campuran beton. Hasil yang diperoleh relatif sama antara beton limbah dan beton original, sehingga bahan limbah berupa DRP, campuran antara CRM-DRP dan batu Gangu dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian agregat alam (pasir dan batu pecah) di dalam beton. Namun pada

campuran III (Campuran antara CRM-DRP) diperoleh nilai kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas dan abrasi mendapatkan nilai yang paling kecil bila dibandingkan dengan yang lain, karena bahan limbah CRM yang relatif lebih tinggi kandungan organikanya, sehingga kuat lekat antara mortar dan agregat kasar kurang baik. Hasil kuat tekan secara keseluruhan memenuhi perencanaan awal yaitu beton dengan kuat tekan rencana 350 kg/cm^2 .

Tabel 5. Hasil uji karakteristik mekanik beton

Cam puran	Bera t Volu me beto n (kg/m^3)	Kua t Tek an (kg/cm^2)	Kua t Tari k Bela h (kg/cm^2)	Modu lus Elasti sitas (E)(kg/cm^2)	Prose ntase Rata-rata abrasi (%)
I	2486,118	403,48	25,04	172106,3	0,049
II	2331,443	385,28	22,87	130939,4	0,049
III	2462,225	358,52	16,25	125021,2	0,039
IV	2398,092	432,10	35,61	283264,8	0,022

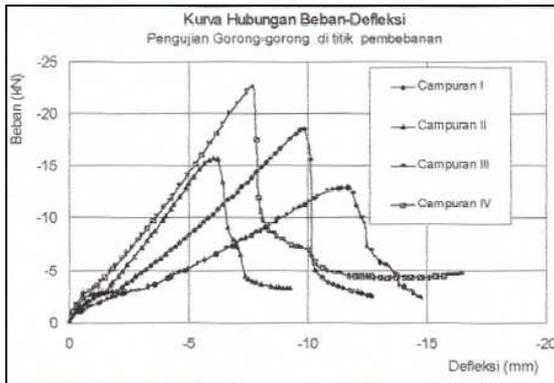
4.2 Pengujian produk benda uji beton berupa Kasteen, gorong-gorong, pelat perkerasan kaku dan balok I, dilakukan dengan mesin uji UTM di laboratorium dan hasil ujinya ditunjukkan dalam Tabel 6 dan Gambar 7 hingga 10. Gambar tersebut memperlihatkan perilaku beton yang menggunakan agregat limbah dan agregat alam. Tabel 6 menunjukkan bahwa hasil uji terhadap beton limbah memiliki kinerja yang relatif sama dengan beton original, sehingga bahan limbah berupa DRP, campuran antara CRM-DRP dan batu Ganggue dapat digunakan didalam beton infastruktur dan struktur, tetapi pada campuran II dan III relatif lebih kecil dari campuran I dan IV, serta beton original. Hal ini dikarenakan campuran yang digunakan dalam beton tersebut adalah sludge DRP dan campuran CRM-DRP yang seting dengan hasil kuat tekannya yang juga lebih kecil. Butiran sludge DRP dan campuran CRM-DRP relatif

kecil bila dibandingkan dengan butiran pasir, sehingga gradasinya di dalam beton kurang baik dan daya lekatan antar butiran juga kurang baik. Disamping itu campuran beton yang menggunakan CRM (campuran DRP-CRM) menghasilkan beban yang relatif lebih kecil lagi, hal ini diakibatkan oleh kandungan organik (olie) yang tinggi pada CRM. Sehingga ikatan antara mortar dan agregat kasar sangat kurang. Sedangkan beton dengan campuran batu gangue menunjukkan perilaku beton yang sangat getas yang ditunjukkan dengan pendeknya defleksi pada saat dibebani lentur. Disamping itu juga menunjukkan bahwa lekatan antar butiran sebenarnya sudah cukup baik, tetapi nilai kekerasan butiran yang relatif lebih kecil dari batu alam.

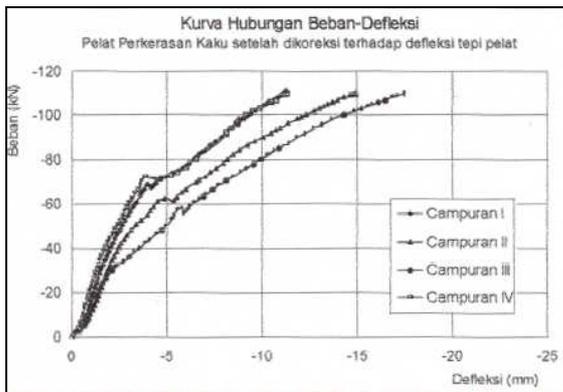
Secara garis besar beton limbah dapat digunakan untuk infastruktur maupun struktur. Pengamatan hasil uji selanjutnya adalah pola retak balok I untuk mendapatkan pola keruntuhan untuk masing masing jenis campuran beton yang di tunjukan pada gambar 11. Gambar 11.a menunjukkan pola retak pada balok I yang menggunakan campuran I. Retak lentur lebih dominan dari pada retak geser. Demikian juga untuk balok I dengan campuran IV (gambar 11.d). Sedangkan balok I dengan campuran II dan III di peroleh retak geser dan retak lentur yang sama dominannya (Gambar 11.b dan 16.c.). Hal ini menunjukkan bahwa material campuran material II dan III relatif lebih kecil kemampuannya untuk menahan geser. Kemampuan untuk menahan geser ditunjukkan oleh daya lekat antara mortar dan agregat kasar yang relatif lebih kecil. Dari hasil pengujian tersebut diatas pada dasarnya semua bahan limbah proses pembuatan dapat dijadikan sebagai bahan struktur berupa gelagar balok I yang akan digunakan sebagai gelagar jembatan. Hal ini ditunjukkan dengan perilaku yang tidak berbeda dengan beton oroginal (campuran IV).

Berdasarkan gambar pola retak yang terjadi pada balok, campuran beton yang menggunakan limbah CRM dan DRP mempunyai daya lekat yang relatif lebih kecil dibanding kedua campuran yang lain (beton original dan campuran dengan limbah batu gangue), sehingga campuran II dan III sebaiknya tidak digunakan untuk struktur

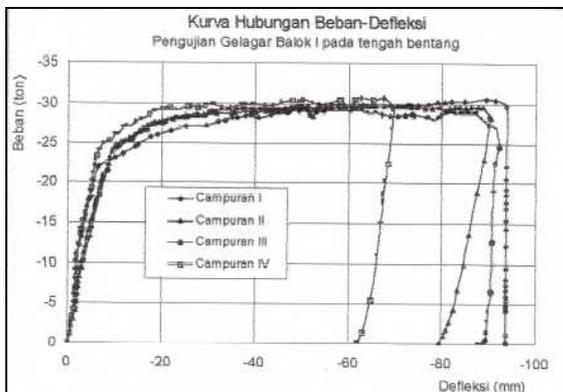
yang dominan tegangan tariknya (seperti balok, pelat, dan atap beton), tetapi kedua campuran tersebut digunakan pada struktur yang dominan menerima tegangan tekan (seperti kolom, pondasi dan pilar jembatan dan struktur yang menumpu di atas tanah (seperti pondasi telapak, sloop dan pelat lantai).



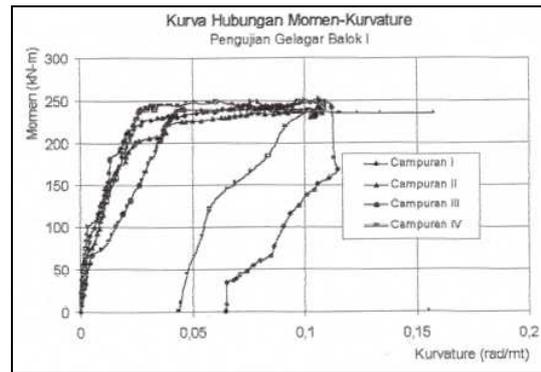
Gambar 7. Kurva hubungan beban-defleksi dari hasil pengujian tekan -gorong.



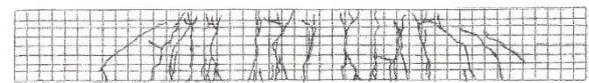
Gambar 8. Kurva hubungan beban-defleksi dari hasil pengujian pelat perkerasan kaku.



Gambar 9. Kurva hubungan beban-defleksi dari hasil pengujian balok I



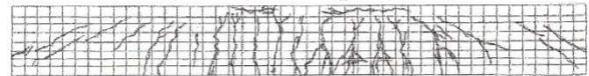
Gamabr 10. Kurva hubungan momen-curvature hasil pengujian balok I



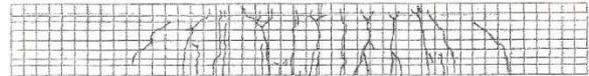
a. Pola retak dari hasil pengujian balok I untuk benda uji dengan campuran I



b. Pola retak dari hasil pengujian balok I untuk benda uji dengan campuran II



c. Pola retak dari hasil pengujian balok I untuk benda uji dengan campuran III



d. Pola retak dari hasil pengujian balok I untuk benda uji dengan campuran IV

Gambar 11. Pola retak dari hasil pengujian balok I untuk berbagai jenis campuran beton.

V. KESIMPULAN

Dari data hasil pengujian benda uji untuk masing-masing parameter, seperti telah dibahas sebelumnya di atas, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Bahan limbah berupa DRP, campuran antara CRM-DRP dan batu gangu dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian agregat alam (pasir dan batu pecah) di dalam beton.
2. Perbedaan karakteristik antara material dari alam dan limbah proses pembuatan baja tersebut relative sama, sehingga dapat langsung digunakan sebagai bahan pengganti sebagian agregat alam (pasir dan batu pecah).
3. Hasil kuat tekan, kuat Tarik, modulus elastisitas dan berat volume beton yang

diperoleh relatif sama antara beton original dan beton limbah, sehingga material limbah berupa DRP, campuran antara CRM-DRP dan batu gangué dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian agregat alam (pasir dan batu pecah), tetapi campuran III (campuran antara CRM-DRP) diperoleh hasil kuat tekan dan karakteristik lainnya mempunyai nilai yang paling kecil, karena bahan limbah CRM relative lebih banyak kadar organiknya dan menunjukkan kuat lekat antara mortar dan agregat kasar kurang baik.

4. Hasil uji laboratorium terhadap produk beton berupa infrastruktur (kansean dan gorong-gorong) dan Struktur (pelat perkerasan kaku dan balok I) adalah relatif sama antara beton original dan beton limbah, sehingga bahan limbah berupa DRP, campuran antara CRM-DRP dan batu Gangué dapat digunakan untuk pembuatan beton infrastruktur dan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 ACI Committee 211.4 R-95 (1955) "Guide for Selecting Proportional for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash (ACI- 211). Detroit.
- 2 ACI Committee 318. "Building Code Requirements for Concrete and Commentary (ACI 318-89/ACI 318-89) ACI Journal ,Detroit. 353 pp.
- 3 ASTM volume 04.02 (1995) "Concrete and Aggregates"
- 4 MacGregor, J. (1997) "Reinforce Concrete Mechanics and Design " Printice Hall.
- 5 Damanhuri, E., et.al (1999), Penelitian lanjutan Pengolahan Limbah Padat Industri (debu EAF & Sluge DRP) sebagai produk Beton dan penelitian Pengolahan Limbah batu Gangué ex DRP & Limbah Slurry ex.RTP CRM " Laporan Penelitian ,LP ITB.
- 6 Neville, A.M. (1996) " Properties of Concrete " , Pitman Publishing Limited.