
PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI *MILL SCALE* DAN *SANDBLAST* SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT HALUS DALAM PENCAMPURAN BETON

Siti Ulfah¹, Dessy Triana², dan Meassa M. Sari³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya

Email: sitiulfah430@rocketmail.com

Abstrak. Limbah yang dihasilkan oleh industri baja yang berupa limbah *mill scale* dan limbah *sandblast* apabila tidak dikelola dengan baik, dapat menimbulkan masalah lingkungan. Hal ini tentu tidak diharapkan baik oleh perusahaan maupun oleh masyarakat umum sehingga limbah *mill scale* yang dihasilkan oleh PT. Krakatau Posco dan limbah *sandblast* yang dihasilkan PT. Cilegon Fabricators tersebut perlu diteliti apakah dapat digunakan sebagai campuran agregat halus dalam pencampuran beton, seberapa besar kuat tekan beton yang dihasilkan serta perlu diketahui apakah beton hasil pencampuran limbah ini dapat digunakan untuk bahan konstruksi bangunan. Parameter pengujian adalah kuat tekan beton tanpa campuran limbah yang dibandingkan dengan beton hasil campuran limbah. Perbandingan pencampuran agregat halus dengan limbah yaitu 0%, 10%, 20% dan 30%, dengan menggunakan mutu beton K-250 (21.7 MPa). Jumlah benda uji sebanyak 84 buah Kubus. Pengujian beton dilakukan pada umur beton 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Hasil penelitian didapat hasil rata-rata kuat tekan pada umur 28 hari untuk beton normal sebesar 22.59 MPa, kadar LMS 10% sebesar 20.74 MPa, kadar LMS 20% sebesar 19.63 MPa, kadar LMS 30% sebesar 20.74 MPa, kadar LS 10% sebesar 20.74 MPa, kadar LS 20% sebesar 19.26 MPa, kadar LS 30% sebesar 25.26 MPa. Kuat tekan beton pada penelitian ini memenuhi persyaratan untuk beton normal yaitu K-250 sebesar 21.7 MPa. Bahkan limbah dengan kandungan *sandblast* yaitu dengan kadar LS 30% mendapatkan hasil kuat tekan tertinggi sebesar 25.26 MPa.

Kata kunci: Limbah *mill scale*, Limbah *Sandblast*, Beton, Kuat Tekan.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu (Tjokrodimulyo, 2007). Beton yang digunakan sebagai struktur dalam konstruksi teknik sipil, dapat dimanfaatkan untuk banyak hal. Dalam teknik sipil, struktur beton digunakan untuk pondasi, kolom, balok, pelat atau pelat cangkang. Beton juga digunakan dalam teknik sipil transportasi untuk pekerjaan *rigid pavement* (lapis keras permukaan yang kaku), saluran samping, gorong-gorong dan lainnya. Dengan kata lain, beton hampir digunakan dalam semua bangunan teknik sipil (Mulyono, 2004). Oleh karena semakin banyaknya kebutuhan beton dalam teknik sipil, maka belakangan ini banyak penelitian yang mengembangkan bahan pembentuk beton yang diganti dengan limbah. Salah

satu alasan mengapa limbah digunakan sebagai bahan pencampuran pembentuk beton karena limbah yang dihasilkan oleh limbah industri sangat melimpah dan jika tidak dimanfaatkan limbah selain akan semakin menggunung, juga dapat menimbulkan pencemaran. Limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri adalah limbah yang termasuk limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya), maka diperlukan pengelolaan bagi limbah industri.

Dalam *Report* (2014), pengelolaan limbah B3 dimaksudkan agar limbah B3 yang dihasilkan dari aktivitas/kegiatan dapat diminimalkan sekecil mungkin bahkan diupayakan sampai dengan nol, yaitu dengan melakukan reduksi pada sumber dengan pengolahan bahan, substitusi bahan, pengaturan operasi kegiatan, dan digunakannya teknologi bersih. Jika masih dihasilkan limbah B3 maka perlu diupayakan pemanfaatan limbah B3, namun dengan tetap menjaga agar limbah B3 tersebut tidak mencemari lingkungan dan membahayakan bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) tidak dapat begitu saja ditimbun, dibakar atau dibuang ke lingkungan. Limbah ini memerlukan cara penanganan yang lebih khusus dibanding limbah yang bukan B3. Limbah B3 tersebut perlu diolah, baik secara fisik, biologi, maupun kimia sehingga menjadi tidak berbahaya atau berkurang daya racunnya. Setelah diolah limbah B3 masih memerlukan metode pembuangan yang khusus untuk mencegah resiko terjadi pencemaran.

Kegiatan industri yang dapat menghasilkan limbah B3 antara lain adalah industri besi baja yang salah satunya dihasilkan oleh PT. Krakatau Posco dan PT. Cilegon Fabricators. PT. Krakatau Posco merupakan perusahaan pabrik baja terpadu yang memiliki *Teknologi Blast Furnace* pertama di Indonesia. Produk yang dihasilkan adalah *Slab*, *Plate* dan *Pig Iron* dan limbah yang dihasilkan berupa *mill scale* dan *Slag*, sedangkan PT. Cilegon Fabricators merupakan perusahaan perakitan baja terkemuka untuk *review* memasok produk ke pelanggan di seluruh dunia, dengan produk yang dihasilkan antara lain struktur baja dan *container crane*, *Boiler* tekanan dan pipa, *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Limbah yang dihasilkan oleh PT. Cilegon Fabricators adalah limbah *sandblast* yang merupakan sisa hasil kegiatan *sandblasting* di industri, yaitu proses penghalusan, pembentukan dan pembersihan permukaan yang keras dengan menembakkan partikel halus berkecepatan tinggi ke permukaan. Limbah yang dihasilkan oleh kedua industri baja tersebut yang berupa *mill scale* dan limbah *sandblast* apabila tidak dikelola dengan baik, dapat menimbulkan masalah lingkungan. Hal ini tentu tidak diharapkan baik oleh perusahaan maupun oleh masyarakat umum sehingga limbah *mill scale* yang dihasilkan oleh PT. Krakatau Posco dan limbah *sandblast* yang dihasilkan PT. Cilegon Fabricators tersebut perlu diteliti apakah dapat dimanfaatkan atau tidak salah satunya sebagai campuran agregat halus dalam pencampuran beton. Oleh sebab itu, berdasarkan latar belakang tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui apakah limbah yang dihasilkan PT. Krakatau Posco dan PT. Cilegon Fabricators dapat digunakan sebagai campuran agregat halus dalam pencampuran beton.
2. Mengetahui hasil kuat tekan beton yang telah dicampur limbah PT. Krakatau Posco dan PT. Cilegon Fabricators.
3. Mengetahui apakah beton hasil pencampuran limbah ini dapat digunakan untuk bahan konstruksi bangunan.

2. STUDI PUSTAKA

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah dalam pembuatan beton telah dilakukan sebelumnya dan menjadi referensi dilakukannya penelitian ini. Salah satu diantaranya dilakukan oleh Madinati (2015), tentang Pemanfaatan Karbon Sekam Padi dan Kelapa Sawit dalam Pembuatan Beton. Penelitian ini membuat beton normal dengan menggunakan karbon sekam padi dan kelapa sawit dengan variasi 10% karbon sekam padi dan karbon kelapa sawit, 20% karbon sekam padi dan karbon kelapa sawit. Cetakan berupa silinder dengan total benda uji sebanyak 45 buah, pada variasi umur beton 7 hari, 14 hari, 21 dan 28 hari. Hasil penelitian didapat penambahan karbon sekam padi dan kelapa sawit berpengaruh pada daya serap air yang sangat tinggi sehingga beton menjadi serat/kaku dan sangat berpengaruh pada tingkat *workability* beton serta kuat tekannya. Nilai hasil rata-rata kuat tekan pada umur 28 hari untuk beton normal tanpa campuran karbon adalah 22.14 MPa yang artinya beton normal melebihi kuat tekan rencana yaitu 20 MPa, dan pada campuran beton yang menggunakan kadar 10% karbon sekam padi adalah 12.6 MPa, 10% karbon kulit kelapa sawit 17.19 MPa, kadar 20% karbon sekam padi 13.8 MPa, dan 20% karbon kelapa sawit 13.66 MPa. Kuat tekan pada penelitian ini tidak memenuhi persyaratan untuk beton normal dan tidak mencapai kuat tekan rencana yaitu 20 MPa pada umur 28 hari.

Penelitian oleh Yunita (2014), tentang Pengaruh Penambahan Pecahan Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton. Dalam penelitian ini digunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran volume ukuran 15x15x15 m³ untuk uji kuat tekan beton. Campuran beton dibuat dengan 4 (empat) variasi, yaitu 0%, 10%, 20% dan 30% bahan tambahan pecahan kaca dari berat pasir. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kuat tekan beton, yang dilakukan saat benda uji berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Dengan sampel berjumlah 36. Dari hasil pengujian diperoleh hasil bahwa kuat tekan pada umur 7 hari dengan pecahan kaca 10% naik sebesar 13%, kuat tekan beton dengan pecahan kaca 20% mengalami penurunan sebesar 31.57%, kuat tekan beton dengan pecahan kaca 30% mengalami penurunan sebesar 25.53%. Sedangkan kuat tekan beton pada umur 14 hari dengan pecahan kaca 10% meningkat sebesar 16,59% kuat tekan beton dengan pecahan kaca 20% mengalami penurunan sebesar 44.96%, kuat tekan beton dengan pecahan kaca 30% mengalami penurunan 0.84%. Dan kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan pecahan kaca 10% meningkat sebesar 18.2%, kuat tekan beton dengan pecahan kaca 20% mengalami penurunan sebesar 20.5%, kuat tekan beton dengan pecahan kaca 30% mengalami penurunan 13.6%.

Pemanfaatan limbah dalam pencampuran beton juga dilakukan oleh Yahya (2013) yang menggunakan limbah industri baja (Blast Furnace Iron Slag) sebagai bahan bangunan studi kasus: PT. Barawaja Makassar. Penelitian ini memanfaatkan limbah Industri baja dari PT. Barawaja yaitu perusahaan industri yang memproduksi besi dan gas industri dimana perlu penanganan lebih serius terhadap limbah *slag* yang dihasilkan untuk ditangani dan dimanfaatkan dengan benar. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sifat-sifat teknis campuran beton yang dibuat dari limbah slag industri baja meliputi kuat tekan, porositas dan laju perlindean, mencari solusi untuk pengelolaan lingkungan yang ramah lingkungan (*friendly environment*) serta kelayakan ekonomi pemanfaatan limbah slag sebagai campuran beton. Metode penelitian yang dilakukan dengan melakukan evaluasi dan penilaian secara terukur menyangkut karakteristik fisik *slag* yang

menyerupai kerikil sehingga slag diperlakukan seperti agregat kasar, persentase *iron slag* yang digunakan dalam pembuatan beton adalah sebesar 0 % : 25 % : 50 % : 75 % dan 100 % serta dilakukan pengujian mekanik dan fisik yang meliputi kuat tekan beton, porositas dan laju perindian.

Hasil penelitian menunjukkan substitusi agregat pada pembuatan beton dengan mutu beton K-175 dengan komposisi split: *iron slag* terbaik yaitu 0 % dibandingkan 100 %. Penentuan komposisi ini didasarkan atas kuat tekan mencapai nilai maksimal sebesar 20.49 MPa dengan nilai porositas terendah yaitu 0.74 %. Hasil pengujian TCLP, unsur senyawa kimia berbahaya yang terlarut sangat-lah kecil dibandingkan sebelum *iron slag* ini berfungsi sebagai substitusi agregat. Salah satu kesimpulan dari hasil penelitian mengenai optimasi pemanfaatan limbah *iron slag* baja PT. Barawaja sebagai campuran beton yaitu bahwa pemeriksaan kuat tekan beton dengan variasi komposisi split 50 % dengan *iron slag* kasar 50 % sebesar 15.58 MPa, komposisi split 25 % dengan *iron slag* kasar 75 % sebesar 17.60 MPa dan komposisi split 0 % dengan *iron slag* 100 % sebesar 20.49 % MPa telah memenuhi persyaratan SNI DT-91-0008-2007 dimana mutu beton K-175 harus mencapai kuat tekan sebesar 14.5 MPa. Hal ini dipengaruhi oleh sifat kimia *iron slag* yang bersifat seperti C2S (slag semen), sehingga semakin banyak persentase komposisi *iron slag* maka semakin besar pula perekat/pengikat material dalam beton yang dapat meningkatkan *interlocking* antar material. Kesimpulan lainnya yaitu limbah *iron slag* baja PT. Barawaja kota Makassar dapat dijadikan sebagai substitusi agregat pada pembuatan beton dengan mutu beton K-175 dengan komposisi split *iron slag* terbaik yaitu 0 % : 100 %. Penentuan komposisi ini didasarkan atas data kuat tekan mencapai nilai maksimal sebesar 20.49 MPa dengan nilai porositas terendah yaitu 0.74%.

3. LIMBAH

Sesuai dengan PP No. 101 Tahun 2014 dalam *Report* (2014), pengertian Limbah B3 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), sedangkan Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disingkat B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Tujuan pengelolaan limbah B3 pada industri besi/baja dan logam adalah untuk mengetahui sejauh mana limbah yang dihasilkan dari proses produksi baja masuk dalam kategori B3 dengan menginventarisasi limbah B3 di industri baja, mengidentifikasi limbah dan limbah B3 pada industri baja, mengkarakterisasi limbah B3 pada limbah industri baja, lalu mengevaluasi pengelolaan limbah dan limbah B3 pada industri baja.

3.1. Limbah *Mill Scale*

Limbah *Mill scale* termasuk Limbah B3 dari sumber spesifik yaitu limbah B3 sisa proses suatu industri atau kegiatan yang secara spesifik dapat ditentukan. Limbah *Mill scale* adalah serpihan dari besi baja yang terbentuk pada permukaan ketika sedang diproduksi. Dalam *Report* (2014), Unsur kimia yang

terkandung dalam limbah *mill scale* dengan menggunakan Uji Karakteristik Limbah dilakukan sebelum melakukan pengolahan, terhadap limbah B3 harus dilakukan uji analisa kandungan/parameter fisika dan/atau kimia dan/atau biologi guna menetapkan prosedur yang tepat dalam proses pengolahan limbah B3 tersebut. Limbah dikategorikan sebagai limbah B3 jika memiliki sifat diantara yang disebut dibawah yaitu mudah meledak, sangat mudah sekali menyala, sangat mudah menyala, mudah terbakar, reaktif, beracun, korosif, infeksi. Pengujian toksikologi berdasarkan Hasil analisa laboratorium uji karakteristik limbah B3 PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk. yang dilakukan di Laboratorium Sucofindo (2013) menyatakan bahwa limbah *mill scale* tidak mudah meledak dan tidak mudah terbakar akan tetapi limbah *mill scale* masih banyak kandungan logam dan oksida sehingga limbah berpotensi dapat dimanfaatkan oleh industri lain.



Gambar 3.1. Limbah *Mill scale*
Sumber: Dok. Pribadi, 2016

3.2. Limbah *Sandblast*

Limbah *sandblast* merupakan sisa hasil kegiatan *sandblasting* di industri. Kegiatan tersebut berupa penghalusan, pembentukan dan pembersihan permukaan yang keras dengan menembakkan partikel halus berkecepatan tinggi ke permukaan. Kegiatan *sandblasting* mirip dengan pengampelasan namun memberikan hasil yang lebih maksimal.

Proses *sandblasting* telah digunakan secara luas di industri dan dikenal sebagai salah satu teknik penanganan permukaan yang baik, khususnya dalam aplikasi pengecatan atau pelapisan permukaan. Dengan melepaskan material kasar (*abrasive*) berkecepatan tinggi ke permukaan, cacat pada permukaan akan tersisih sehingga menghasilkan permukaan yang halus dan siap untuk dilapisi atau dicat. Pada umumnya proses *sandblasting* diaplikasikan pada industri galangan kapal, industri perakitan otomotif, industri logam, dan untuk keperluan

pemeliharaan kilang minyak pada industri migas, transportasi, serta pemeliharaan infrastruktur sipil.



Gambar 3.2. Limbah Sandblast
Sumber: Dok. Pribadi, 2016

Berdasarkan lampiran 2 Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999, limbah yang berasal dari kegiatan *sandblasting* yaitu *sandblast* ditetapkan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dari sumber spesifik, yaitu limbah sisa proses suatu industri atau kegiatan yang secara spesifik dapat ditentukan berdasarkan kajian ilmiah. Limbah *sandblast* dikategorikan sebagai limbah B3 karena pada limbah tersebut terindikasi mengandung sejumlah logam berat yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan. Paparan debu limbah *sandblast* secara terus menerus berpotensi menyebabkan iritasi pada kulit, gangguan pernapasan bahkan silikosis. Pembuangan limbah *sandblast* ke lingkungan tanpa pengolahan yang baik dapat mencemari udara, air dan tanah. Ditinjau dari komposisi oksida logam yang dominan, limbah *sandblast* terdiri dari oksida logam besi, aluminium dan silika.

4. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimen tentang pemanfaatan limbah *mill scale* dan limbah *sandblast* sebagai campuran agregat halus dalam pencampuran beton. Limbah *mill scale* dan limbah *sandblast* akan diganti campuran betonnya sebanyak 0%, 10%, 20% dan 30%, lalu diuji saat beton telah berumur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Mutu beton normal yang digunakan adalah K-250 (21.7 MPa). Prosedur penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap:

1. Pengumpulan data-data teori dasar yang berasal dari jurnal buku, jurnal, skripsi, literatur, laporan penelitian, Standar Nasional Indonesia (SNI) dan sumber-sumber tertulis baik tercetak maupun elektronik lain sebagai data

sekunder, sedangkan data primer diperoleh dari hasil pengamatan langsung saat penelitian;

2. Persiapan alat dan bahan yang akan digunakan;
Alat berupa mesin pengaduk beton (mollen), ayakan, timbangan, alat uji kuat tekan, mesin LAA, cetakan kubus, alat slump test, cawan, gelas ukur, perkakas, wadah dan pelumas kubus.
Bahan berupa agregat kasar, agregat halus (pasir) jalumpang, limbah *mill scale*, limbah *sandblast*, semen dan air.
3. Pemeriksaan sifat fisik (berat isi dan analisa saringan) agregat halus, agregat kasar, limbah mill scale dan limbah sandblast.
4. Perencanaan campuran beton
5. Pemeriksaan adukan betaon (slump test)
6. Pembuatan benda uji. Benda uji dibuat dengan menggunakan cetakan kubus ukuran 15 x 15 x 15 cm. Jumlah benda uji beton normal tanpa campuran limbah sebanyak 12 sampel, beton dengan campuran limbah PT. Krakatau Posco (Limbah *Mill scale*) dengan perbandingan yang telah ditentukan sebanyak 36 sampel, beton dengan campuran limbah PT. Cilegon Fabricators (Limbah *Sandblast*) dengan perbandingan yang telah ditentukan sebanyak 36 sampel, sehingga total benda uji sebanyak 84 buah, seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.1;
7. Perawatan Beton yang meliputi proses pengeringan dan perendaman;
8. Persiapan Pengujian;
9. Pengujian kuat tekan beton.

Tabel 4.1. Jumlah benda uji

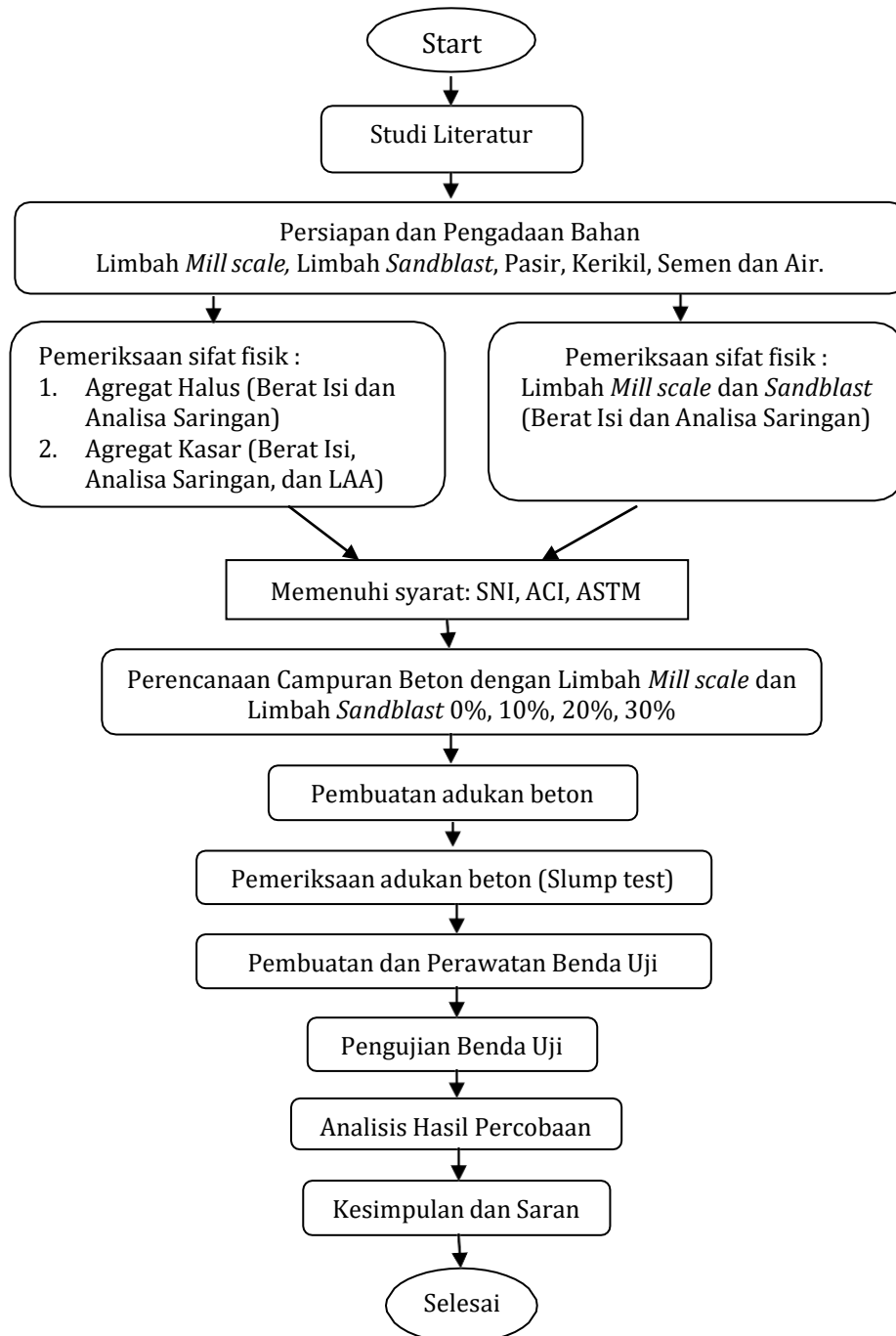
Umur Beton	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 Hari	Jumlah Beton yang di Uji
Beton Normal	3	3	3	3	12
Beton campuran limbah <i>Mill Scale</i> 10%	3	3	3	3	12
Beton campuran limbah <i>Mill Scale</i> 20%	3	3	3	3	12
Beton campuran limbah <i>Mill Scale</i> 30%	3	3	3	3	12
Beton campuran limbah <i>Sandblast</i> 10%	3	3	3	3	12
Beton campuran limbah <i>Sandblast</i> 20%	3	3	3	3	12
Beton campuran limbah <i>Sandblast</i> 30%	3	3	3	3	12
JUMLAH TOTAL BENDA UJI					84

Sumber: Penulis, 2016

4.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di UPTD Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Serang di Jalan Raya Banten – Serang. Pelaksanaan penelitian dimulai pada 19 April s/d 29 Agustus 2016.

4.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.1. Bagan Alir Penelitian

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kuat tekan beton untuk setiap satu benda uji dilakukan sebanyak 3 kali, sehingga diperoleh 84 hasil uji kuat tekan. Kuat tekan yang

diambil adalah kuat tekan rata-rata dari 3 kali pengujian. Hasil uji kuat tekan ditunjukkan oleh Tabel 5.1, Tabel 5.2, Tabel 5.3, Tabel 5.4, dan Tabel 5.5.

Tabel 5.1 Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Normal

NO.	KODE BENDA UJI	UMUR (H)	BERAT (gr)	BERAT (kg)	LUAS BIDANG (cm)	BEBAN (KN)	KUAT TEKAN (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	NORMAL	7 Hari	7222	7.222	225	325	14.44	14.44
2	NORMAL	7 Hari	7368	7.368	225	350	15.56	
3	NORMAL	7 Hari	7302	7.302	225	300	13.33	
4	NORMAL	14 Hari	7201	7.201	225	375	16.67	17.04
5	NORMAL	14 Hari	7307	7.307	225	375	16.67	
6	NORMAL	14 Hari	7293	7.293	225	400	17.78	
7	NORMAL	21 Hari	7255	7.255	225	325	14.44	17.04
8	NORMAL	21 Hari	7280	7.28	225	425	18.89	
9	NORMAL	21 Hari	7177	7.177	225	400	17.78	
10	NORMAL	28 Hari	7324	7.324	225	475	21.11	22.59
11	NORMAL	28 Hari	7230	7.23	225	550	24.44	
12	NORMAL	28 Hari	7454	7.454	225	500	22.22	

Tabel 5.2. Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Normal Umur 7 Hari

NO.	KODE BENDA UJI	UMUR (H)	BERAT (gr)	BERAT (kg)	LUAS BIDANG (cm)	BEBAN (KN)	KUAT TEKAN (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	LMS 10%	7 Hari	7481	7.481	225	350	15.56	16.67
2	LMS 10%	7 Hari	7329	7.329	225	400	17.78	
3	LMS 10%	7 Hari	7408	7.408	225	375	16.67	
4	LMS 20%	7 Hari	7502	7.502	225	350	15.56	15.93
5	LMS 20%	7 Hari	7521	7.521	225	350	15.56	
6	LMS 20%	7 Hari	7594	7.594	225	375	16.67	
7	LMS 30%	7 Hari	7434	7.434	225	400	17.78	17.78
8	LMS 30%	7 Hari	7344	7.344	225	400	17.78	
9	LMS 30%	7 Hari	7482	7.482	225	400	17.78	
10	LS 10%	7 Hari	7391	7.391	225	325	14.44	14.44
11	LS 10%	7 Hari	7199	7.199	225	350	15.56	
12	LS 10%	7 Hari	7230	7.230	225	300	13.33	
13	LS 20%	7 Hari	7328	7.328	225	300	13.33	14.07
14	LS 20%	7 Hari	7225	7.225	225	350	15.56	
15	LS 20%	7 Hari	7132	7.132	225	300	13.33	
16	LS 30%	7 Hari	7476	7.476	225	400	17.78	17.04
17	LS 30%	7 Hari	7443	7.443	225	300	13.33	
18	LS 30%	7 Hari	7452	7.452	225	450	20.00	

Tabel 5.3. Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Normal Umur 14 Hari

NO.	KODE BENDA UJI	UMUR (H)	BERAT (gr)	BERAT (kg)	LUAS BIDANG (cm)	BEBAN (KN)	KUAT TEKAN (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	LMS 10%	14 Hari	7393	7.393	225	450	20.00	19.41
2	LMS 10%	14 Hari	7446	7.446	225	425	18.89	
3	LMS 10%	14 Hari	7265	7.265	225	435	19.33	
4	LMS 20%	14 Hari	7556	7.556	225	400	17.78	18.15
5	LMS 20%	14 Hari	7531	7.531	225	425	18.89	
6	LMS 20%	14 Hari	7459	7.459	225	400	17.78	
7	LMS 30%	14 Hari	7371	7.371	225	400	17.78	18.52
8	LMS 30%	14 Hari	7256	7.256	225	400	17.78	
9	LMS 30%	14 Hari	7366	7.366	225	450	20.00	
10	LS 10%	14 Hari	7206	7.206	225	410	18.22	18.30
11	LS 10%	14 Hari	7325	7.325	225	400	17.78	
12	LS 10%	14 Hari	7222	7.222	225	425	18.89	
13	LS 20%	14 Hari	7357	7.357	225	400	17.78	18.15
14	LS 20%	14 Hari	7321	7.321	225	400	17.78	
15	LS 20%	14 Hari	7399	7.399	225	425	18.89	
16	LS 30%	14 Hari	7407	7.407	225	500	22.22	22.59
17	LS 30%	14 Hari	7499	7.499	225	525	23.33	
18	LS 30%	14 Hari	7384	7.384	225	500	22.22	

Tabel 5.4. Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Normal Umur 21 Hari

NO.	KODE BENDA UJI	UMUR (H)	BERAT (gr)	BERAT (kg)	LUAS BIDANG (cm)	BEBAN (KN)	KUAT TEKAN (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	LMS 10%	21 Hari	7227	7.227	225	425	18.89	19.26
2	LMS 10%	21 Hari	7322	7.322	225	450	20.00	
3	LMS 10%	21 Hari	7231	7.231	225	425	18.89	
4	LMS 20%	21 Hari	7551	7.551	225	427	18.98	19.29
5	LMS 20%	21 Hari	7489	7.489	225	425	18.89	
6	LMS 20%	21 Hari	7256	7.256	225	450	20.00	
7	LMS 30%	21 Hari	7375	7.375	225	475	21.11	20.74
8	LMS 30%	21 Hari	7251	7.251	225	475	21.11	
9	LMS 30%	21 Hari	7311	7.311	225	450	20.00	
10	LS 10%	21 Hari	7506	7.506	225	425	18.89	18.52
11	LS 10%	21 Hari	7452	7.452	225	425	18.89	
12	LS 10%	21 Hari	7325	7.325	225	400	17.78	
13	LS 20%	21 Hari	7431	7.431	225	425	18.89	18.30
14	LS 20%	21 Hari	7325	7.325	225	400	17.78	
15	LS 20%	21 Hari	7302	7.302	225	410	18.22	
16	LS 30%	21 Hari	7267	7.267	225	550	24.44	24.07
17	LS 30%	21 Hari	7506	7.506	225	550	24.44	
18	LS 30%	21 Hari	7495	7.495	225	525	23.33	

Tabel 5.5. Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Normal Umur 28 Hari

NO.	KODE BENDA UJI	UMUR (H)	BERAT (gr)	BERAT (kg)	LUAS BIDANG (cm)	BEBAN (KN)	KUAT TEKAN (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	LMS 10%	28 Hari	7489	7.489	225	475	21.11	20.74
2	LMS 10%	28 Hari	7366	7.366	225	450	20.00	
3	LMS 10%	28 Hari	7299	7.299	225	475	21.11	
4	LMS 20%	28 Hari	7536	7.536	225	450	20.00	19.63
5	LMS 20%	28 Hari	7326	7.326	225	450	20.00	
6	LMS 20%	28 Hari	7508	7.508	225	425	18.89	
7	LMS 30%	28 Hari	7250	7.250	225	475	21.11	20.74
8	LMS 30%	28 Hari	7215	7.215	225	450	20.00	
9	LMS 30%	28 Hari	7332	7.332	225	475	21.11	
10	LS 10%	28 Hari	7449	7.449	225	475	21.11	20.74
11	LS 10%	28 Hari	7326	7.326	225	450	20.00	
12	LS 10%	28 Hari	7366	7.366	225	475	21.11	
13	LS 20%	28 Hari	7376	7.376	225	450	20.00	19.26
14	LS 20%	28 Hari	7332	7.332	225	400	17.78	
15	LS 20%	28 Hari	7219	7.219	225	450	20.00	
16	LS 30%	28 Hari	7505	7.505	225	550	24.44	25.26
17	LS 30%	28 Hari	7446	7.446	225	555	24.67	
18	LS 30%	28 Hari	7524	7.524	225	600	26.67	

Berikut adalah rekapitulasi hasil uji kuat tekan beton normal, beton dengan campuran limbah *mill scale* (LMS) dan beton dengan campuran limbah *sandblast* (LS).

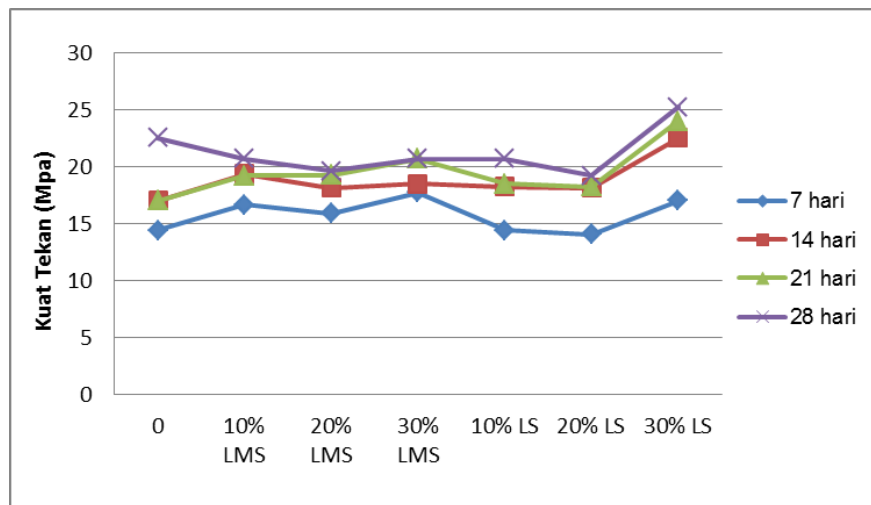
Tabel 5.6. Rekapitulasi uji kuat tekan beton

Umur	Kuat Tekan Beton (MPa)						
	0% Limbah	LMS 10%	LMS 20%	LMS 30%	LS 10%	LS 20%	LS 30%
7	14.44	16.67	15.93	17.78	14.44	14.07	17.04
14	17.04	19.41	18.15	18.52	18.30	18.15	22.59
21	17.04	19.26	19.29	20.74	18.52	18.30	24.07
28	22.59	20.74	19.63	20.74	20.74	19.26	25.26

Tabel 5.6. dan Gambar 5.1. menunjukkan kuat tekan beton rata-rata keseluruhan baik dari segi umur beton maupun persentase limbah *mill scale* dan limbah *sandblast* yang digunakan. Peningkatan nilai kuat tekan beton setiap umur rencana tersebut tidak seragam sehingga menunjukkan kuat tekan yang berbeda.

Kuat tekan terkecil pada beton normal umur 7 hari sedangkan kuat tekan tertinggi yaitu pada beton dengan campuran limbah *sandblast* umur 28 hari yang bahkan melebihi kuat tekan beton normal pada umur yang sama. Pada umur 7

hari, kuat tekan terendah yaitu pada beton tanpa campuran limbah sebesar 14.44 MPa, sedangkan kuat tekan tertinggi didapat pada beton dengan campuran limbah *mill scale* 30% sebesar 17.78 MPa. Pada umur 14 hari, beton dengan kuat tekan tertinggi adalah beton dengan kandungan campuran limbah *sandblast* 30% yaitu sebesar 22.59 MPa sementara kuat tekan terendah juga diperoleh pada beton tanpa campuran limbah yaitu sebesar 17.04 MPa. Beton dengan umur 21 hari didapat kuat tekan terbesar sebesar 24.07 MPa pada beton dengan campuran limbah *sandblast* 30%, sedangkan beton tanpa campuran limbah menghasilkan kuat tekan terendah yaitu 17.04 MPa.



Gambar 5.1. Grafik kuat tekan beton campuran limbah *mill scale* dan limbah *sandblast*

Pengujian pada beton umur 28 hari yang menggunakan limbah *sandblast* 20% menghasilkan kuat tekan terkecil yaitu 19.26 MPa, sementara kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh beton dengan campuran limbah *sandblast* 30% yaitu sebesar 25.26 MPa yang jauh melampaui beton tanpa kandungan limbah dengan kuat tekan sebesar 22.59 MPa. Secara umum, beton dengan kandungan limbah *sandblast* menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang dicampurkan dengan limbah *mill scale* maupun beton tanpa campuran limbah. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya zat-zat tertentu yang terkandung dalam limbah *sandblast* tersebut yang menyebabkan beton dapat menghasilkan kuat tekan yang lebih baik.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pemanfaatan limbah *mill scale* dan limbah *sandblast* dapat digunakan sebagai campuran agregat halus dalam pencampuran beton. Agar hasil kuat tekan yang diinginkan sesuai yang direncanakan, maka persentase pencampuran yang tepat dapat menghasilkan hasil kuat tekan beton yang sesuai.

2. Hasil rata-rata kuat tekan pada umur 28 hari untuk beton normal sebesar 22.59 MPa, kadar LMS 10% sebesar 20.74 MPa, kadar LMS 20% sebesar 19.63 MPa, kadar LMS 30% sebesar 20.74 MPa, kadar LS 10% sebesar 20.74 MPa, kadar LS 20% sebesar 19.26 MPa, kadar LS 30% sebesar 25.26 MPa. Kuat tekan beton pada penelitian ini memenuhi persyaratan untuk beton normal yaitu K-250 sebesar 21.7 MPa. Bahkan limbah dengan kandungan *sandblast* yaitu dengan kadar LS 30% mendapatkan hasil kuat tekan tertinggi sebesar 25.26 MPa.
3. Pemanfaatan limbah *mill scale* dan limbah *sandblast* dapat digunakan untuk bahan konstruksi bangunan dalam skala kecil contohnya untuk pengecoran kolom, dan bangunan rumah sederhana lainnya. Akan tetapi untuk skala besar seperti dalam pembuatan jalan dan jembatan tidak bisa menggunakan limbah *mill scale* dan limbah *sandblast* karena kebutuhan limbah yang banyak tidak akan memenuhi jadwal pengerjaan tersebut, karena hasil produksi limbah yang dihasilkan tidak menentu.

6.2. Saran

1. Penelitian selanjutnya yaitu pembuatan beton dengan kadar limbah yang ditambah menjadi 50%, 75% bahkan bisa saja agregat halus diganti menjadi 100% agar mendapatkan hasil kuat tekan yang baik dan tinggi, sehingga mutu beton yang direncanakan dapat terpenuhi.
2. Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan alternatif bahan tambahan lain seperti : limbah slag, limbah gula pasir dan limbah-limbah hasil produksi lainnya.
3. Limbah *mill scale* dan limbah *sandblast* merupakan limbah yang berupa pasir, sehingga limbah yang dihasilkan berupa gunung pasir yang bisa tercampur dengan debu, tanah dan kotoran lainnya. Jadi pada saat penelitian, limbah *mill scale* dan limbah *sandblast* harus disaring dan dibersihkan agar kotoran tidak bercampur pada limbah *mill scale* dan limbah *sandblast*.

DAFTAR PUSTAKA

- Report, Annual.* (2014). "Bab 9 Pengelolaan Limbah Bahan Beracun Dan Berbahaya"
- ASTM C33 "Specification for Structural Concrete Agregates"
- ASTM C330 "Specification for Light Weight Agregates for Structural Concrete"
- ASTM C.33-86 "Standar Spesification for Concrete Aggregates"
- ASTM C 469-94 "Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, Annual Books of ASTM Standards,USA, 2002."
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB, "Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal". SK SNI T-15-1990-03.

Hazardous waste treatment technologies, G. Edujee, *Waste Management and Minimisation – Volume 1. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*

Madinati, K. F. (2015). *Pemanfaatan Karbon Sekam Padi dan Kelapa Sawit dalam Pembuatan Beton*. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Serang Raya.

Manual Sistem Manajemen Krakatau Steel (SMKS) PT. Krakatau Steel

Mulyono, Tri. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit ANDI OFFSET

Neville, A. M. dan Books, J.J. (1987). *“Concrete Teknologi, Longman Scientific & Technical”, New York.*

SII 0052-80 *“Mutu dan Cara Uji Agregat Beton”*

SNI-03-2834-1993 *“Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Pustran, Balitbang, Departemen Pekerjaan Umum”*

SNI-03-2834-2000 *“Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”*

SNI-7394-2008 *“Analisa Harga Satuan Pekerjaan 1m³”*

Tjokrodimulyo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Yahya, M. (2013) *“Pemanfaatan Limbah Industri Baja (Blast Furnace Iron Slag) sebagai Bahan Bangunan Studi Kasus : PT. Barawaja Makassar”* Prosiding Temu Ilmiah IPLB 2013. Laboratorium Perencanaan dan Perancangan Lingkungan, Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Yunita, R. (2014). *Pengaruh Penambahan Pecahan Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton*.