

A 437

A 437

DPP/BPPIP/BISB/266/99

NO: 306 / 9 / BALAI RISET
DAN STANDARISASI INDUSTRI

PENGUNAAN BAHAN BANGUNAN
BERBASIS SLAG

DISPERPUSIP JATIM

DEPARTEMEN PERINDUSTRIAN DAN PERDAGANGAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI DAN PERDAGANGAN
PROYEK PENGEMBANGAN DAN PELAYANAN TEKNOLOGI INDUSTRI JAWA TIMUR
BALAI PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI SURABAYA
Jl. Jagir Wonokromo 360 Telp. 8416612 - 8410054 Surabaya
1999

A 437

PENGGUNAAN BAHAN BANGUNAN BERBASIS SLAG

Oleh :
Ir. Rumintang Ruslinda Panjaitan
Ir. Sudjarno
Barnabas.D.B.BSc.

**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
DAN PERDAGANGAN
PROYEK PENGEMBANGAN DAN PELAYANAN
TEKNOLOGI INDUSTRI JAWA TIMUR
BALAI PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
SURABAYA**

Jln. Jagir Wonokromo No. 360 Telp. 8410054 Surabaya
1998/1999.

KATA PENGANTAR.

Puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat yang dilimpahkanNya sehingga tugas yang dibebankan kepada kami dapat diselesaikan.

Salah satu penelitian yang telah dilakukan oleh Proyek Pengembangan dan Pelayanan Teknologi Industri Jawa Timur tahun 1998/1999 adalah

“ PENGGUNAAN BAHAN BANGUNAN BERBASIS SLAG “.

Kami menyadari bahwa laporan penelitian ini masih belum sempurna, maka dengan segala senang hati kami bersedia menerima kritik dari pembaca, sehingga laporan ini dapat lebih berguna.

Pada kesempatan ini, kami ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu sampai selesai tugas penelitian ini.

Akhirnya kami berharap mudah-mudahan hasil penelitian ini dapat menjadi bahan masukan yang bermanfaat bagi pengembangan dan pembinaan industri, khususnya industri kecil maupun industri menengah bahan bangunan.

Surabaya, Maret 1999

Penyusun :

Ir. Rumintang Ruslinda Panjaitan.

Ir. Sudjarno.

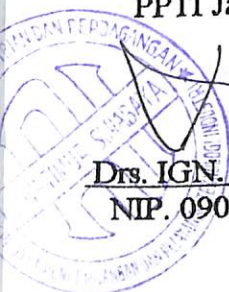
Mengetahui .

Pemimpin Proyek

PPTI Jatim.


Drs. IGN. Nirawan.

NIP. 090007831



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
ABSTRAK	v
BAB. I. Pendahuluan	1
I.1. Latar belakang	1
I.2. Maksud dan Tujuan	2
I.3. Hasil yang diharapkan	2
BAB. II. TINJAUAN PUSTAKA.	3
BAB. III. PELAKSANAAN PENELITIAN.	10
III.1. Kegiatan laboratorium.	10
III.2. Kegiatan Lapangan.	11
III.3. Bahan dan Alat yang digunakan	12
III.4. Survey	13
BAB. IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.	14
IV.1. Hasil Penelitian	14
Hasil analisa bahan slag, scale	14
Hasil analisa bahan abu batu, kerikil, pasir	15
Hasil analisa rata-rata penyerapan air benda uji	16

Hasil analisa kekuatan tekan benda uji umur 7 hari	16
Hasil analisa kekuatan tekan benda uji umur 14 hari	17
Hasil analisa kekuatan tekan benda uji memenuhi mutu A & B	18
Analisa dari tabel IV.7	19
Hasil analisa penyerapan air paving	20
IV. 2. Pembahasan	22
IV. 3. Perhitungan Analisa Ekonomi	25
BAB. V. KESIMPULAN DAN SARAN	28
DAFTAR PUSTAKA	30

DISPERPUSIP JATIM

DAFTAR TABEL.	Hal.
Tabel II.1. Mutu kuat tekan dan penyerapan paving sesuai SNI 03-0691-1996.	8
Tabel II.2. Syarat- Syarat fisis Bata Tras Kapur.	9
Tabel IV.1. Hasil analisa kimia bahan slag dan scale	14
2. Hasil analisa kimia bahan abu batu dan krikil	15
3. Hasil analisa kimia bahan pasir	15
4. Hasil analisa rata-rata penyerapan air benda uji	16
5. Hasil analisa kekuatan tekan benda uji umur 7 hari	16
6. Hasil analisa kekuatan tekan benda uji umur 14 hari	17
7. Hasil analisa kekuatan tekan benda uji memenuhi mutu A dan B	18
8. Analisa variance dari tabel IV.7.	19
9. Beda nyata terkecil dari tabel IV.7	20
10. Hasil Analisa Penyerapan Air	20
11. Hasil analisa rata-rata kekuatan tejukan benda Uji Paving.	21

ABSTRAK.

Penelitian ini adalah penggunaan limbah padat berupa slag dan scale dari industri baja dan besi yang ada di Propinsi Daerah Tingkat I Jawa Timur yakni di Daerah Tingkat II Kabupaten Sidoarjo.

Percobaan sebagai benda uji dibuat berupa bahan bangunan berupa Paving Block.

Hasil percobaan dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia, SNI 03-0691-1996. Penambahan slag maupun scale yang bervariasi adalah sebagai substitusi pasir atau agregat lain.

Kekuatan tekan yang memenuhi mutu A sesuai SNI adalah kode K₁ sebesar 547,84 kg/cm², kode K₆ sebesar 512,81 kg/cm² dan kode K₂ sebesar 198,98 kg/cm².

Kekuatan tekan yang memenuhi mutu B atau mutu C minimum adalah kode K₃ sebesar 198,98 kg/cm², kode K₇ sebesar 196,18 kg/cm² dan kode K₄ 187,20 kg/cm².

Kekuatan tekan yang memenuhi mutu D minimum adalah kode K₅ sebesar 89,92 kg/cm².

Penyerapan air yang memenuhi mutu A adalah kode K₁ sebesar 2,83 %, sedangkan perlakuan yang lain semuanya memenuhi mutu B, lebih kecil dari 5,42 %

Perhitungan statistik menunjukkan bahwa kekuatan tekan dan penyerapan air yang paling baik adalah perlakuan K₁ dan efisiensi perhitungan ekonomi sebesar 37,46 %.

BAB I

PENDAHULUAN.

I.1. Latarbelakang.

Penanganan limbah industri sangat penting, karena dampak yang ditimbulkan mempengaruhi kehidupan mahluk yang ada disekitarnya.

Di Propinsi Daerah Tingkat I Jawa Timur, yakni di Kabupaten Daerah Tingkat II Sidoarjo, ada 3 industri baja. Hasil sampingnya berupa slag, scale dan debu yang merupakan limbah padat. Pada saat ini sebagian besar belum dimanfaatkan dan sebagian kecil yang lain digunakan untuk menguruk jalan (land fill).

Buangan tersebut ditampung di lahan sekitar pabrik, limbah padat ini bila tidak dimanfaatkan, lama kelamaan akan menumpuk dan akan memerlukan tempat untuk membuangnya.

Untuk memanfaatkan limbah tersebut, dicoba untuk membuat campuran di salah satu bahan bangunan. Bagi negara maju slag telah dimanfaatkan dibidang pembangunan konstruksi karena kekerasannya menyerupai batuan.

Bila limbah padat ini ditimbun di salah satu lahan, akan menjebakkan tandus, kerena sulit untuk dihijaukan kembali.

Potensi slag dan scale dari beberapa industri baja di Sidoarjo sekitar 100.000 ton/ bulan, pada saat ini diupayakan untuk campuran bahan bangunan, sesuai dengan kebutuhan.

I.2. Maksud dan Tujuan.

Maksud dan tujuan dari penelitian adalah :

- Untuk memanfaatkan potensi slag dan hasil samping yang lain dari industri baja yang ada di Daerah Kabupaten Sidoarjo
- Menciptakan lapangan kerja pada industri bahan bangunan dan industri lain yang terkait.
- Menciptakan industri yang berwawasan lingkungan.
- Mengharapkan hasil bahan tersebut mempunyai nilai tambah.

I.3. Hasil yang diharapkan.

Dengan memasyarakatkan penggunaan slag dan scale dan pengembangan serta penguasaan teknologinya, diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah bagi industri bahan bangunan, menciptakan lapangan kerja bagi para penderita Pemutusan Hubungan Kerja (PHK) serta menciptakan industri yang berwawasan lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA.

II.1. Slag.

Slag adalah hasil samping industri besi atau baja yang berasal dari proses peleburan. Dalam bentuk cairan slag, kalsium silikat berkumpul pada dasar tanur, mengapung diatas cairan besi.

Kapur (CaO) sebagai oksida basa bereaksi dengan oksida asam (SiO_2) membentuk kalsium silikat (CaSiO_3). Untuk setiap ton besi ada sekitar 0,5 ton slag. Slag besi silikat (SiO_2) terdapat pada wrought iron. Silikat ini pada kenyataannya dalam wrought iron tidak terikat dengan besi tetapi berada dalam phase tersendiri, tidak larut dalam besi.

Biji besi sebagai bahan dasar dipanasi tidak sampai meleleh tetapi merupakan pasta yang berlobang-lobang seperti sponge. Pasta ini adalah butiran dari besi murni yang dikelilingi dengan slag yang kemudian di press dan di rolled dijadikan plate, waktu meroling maka silikat seperti benang - benang yang sama dengan arah rolling.

Wrought iron merupakan satu-satunya besi yang mengandung Si, dimana Si ini bersenyawa dengan besi dan berada dalam slag. Silikon merupakan kotoran yang dibuang tetapi setelah analisa maka Si justru yang menentukan sifat dari wrought iron .

Pembentukan slag terjadi pada cupola, dimana cairan didalamnya membiarkan penghilangan non logam yang tidak terbakar.

Slag terbentuk oleh :

- Abu arang (tergantung pada isi abu arang)
- Pasir, karat dan kotoran - kotoran lain pada material.

- Lapisan lelehan cupola dan lapisan yang terbentuk secara kimia.
- Produk-produk lain seperti besi oksida, silikon dan mangan oksida.

11.2. Besi.

Pada industri yang mengeluarkan slag dan scale sebagai limbah padat ini, salah satu unsur utama yang digunakan adalah besi.

Unsur besi memiliki nilai industri yang lebih besar dibandingkan unsur-unsur lainnya. Unsur ini sangat banyak jumlahnya, menempati posisi ke 4 (empat) dalam kulit bumi (setelah oksigen dan aluminium). Unsur ini sangat umum, merupakan penyusun yang penting dari beberapa ratus mineral; Unsur ini mudah dibuat dengan cara memanaskan beberapa mineralnya dengan karbon. Unsur ini memiliki banyak sifat yang menguntungkan, terutama dalam keadaan tidak murni. Karena sebab itulah besi telah menjadi satu ciri khas dari kebudayaan dan telah menandai salah satu zaman dalam arkeologi.

Sekitar 5 % kulit bumi adalah besi, beberapa dari besi ini bersifat meteor dan berada dalam keadaan tak bersenyawa, serta berbentuk logam, namun sebagian besar adalah bersenyawa dengan oksigen, silikon atau belerang. Mineral alam yang penting adalah hematit, limonit, magnetit dan siderit, umumnya terkontaminasi oleh senyawaan besi silikat.

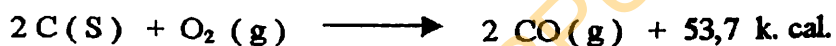
Selain kulit bumi, ada kemungkinan inti bumi adalah besi. Bukti secara tidak langsung berdasarkan studi gelombang gempa bumi dan peristiwa pasang surut menunjukkan bahwa inti bumi bersifat cair dan memiliki berat jenis yang bersesuaian dengan berat jenis besi cair pada tekanan tinggi. Besi jarang diproduksi dalam keadaan murni, karena sulit membuatnya dan terlalu mahal untuk beberapa kegunaan. Lebih lanjut, besi tidak

murni (baja) memiliki sifat tertentu sesuai dengan kegunaannya dan menurut yang kita inginkan, khususnya bila bercampur dengan karbon dalam jumlah yang sesuai.

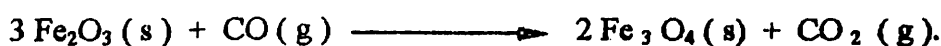
Produk industri besi murni dilakukan dalam skala besar disebuah tanur tinggi yang rumit yang melibatkan biji besi, batu kapur dan karbon.

Biji besi, batu kapur dan arang dimasukkan dari atas tanur, udara atau oksigen panas dihembuskan di bagian bawah tanur. Saat besi mulai meleleh, menuju lubang yang berada dibawah, kemudian perlahan-lahan keluar. Keseluruhan proses ini membutuhkan waktu 2 jam, mulai dari masuknya bahan hingga keluarnya dari tanur.

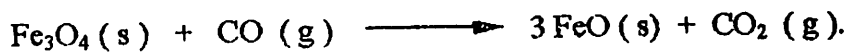
Proses kimia yang terjadi dalam tanur adalah bahwa zat pereduksi aktifnya bukan karbon melainkan karbon monoksida. Saat muatan terbentuk dalam tanur, arang dioksidasi dengan oksigen yang dihasilkan melalui reaksi :



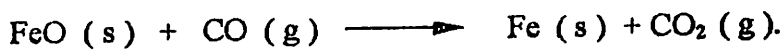
menghasilkan zat pereduksi CO dan melepaskan panas dalam jumlah yang besar (tinggi). Ketika karbon monoksida bergerak menuju atas tanur, CO bertemu dengan oksida besi dalam tingkat reduksi yang bervariasi, tergantung pada suhu wilayahnya. Di puncak tanur, dimana suhu paling rendah (sekitar 250 ° C) biji besi terutama Fe₂O₃ direduksi menjadi Fe₃O₄ melalui reaksi :



Bersamaan dengan terbentuknya Fe₃O₄ kemudian direduksi menjadi FeO.



Akhirnya mengarah ke dasar tanur, FeO direduksi menjadi besi dengan reaksi :



suhu pada bagian paling bawah tanur lebih tinggi dari titik leleh besi tidak murni, sehingga lelehan padat dan tetesan turun pada tempat yang paling bawah.

Persamaan reaksi untuk reduksi Fe_2O_3 sebagai berikut :



Pada penambahan reaksi selanjutnya, terjadi kombinasi CO_2 dengan karbon panas,



dan peruraian panas dari batu kapur dengan reaksi :



Kedua reaksi ini amat membantu :

Kedua reaksi ini amat membantu :

Yang pertama menaikkan pereduksi CO, sedangkan yang kedua memindahkan kandungan silikat yang terkontaminasi dalam biji besi. CaO adalah oksida basa; bereaksi dengan oksida asam SiO₂, membentuk kalsium silikat. Dalam bentuk lahar seperti slag, kalsium silikat terkumpul pada dasar tanur dan mengapung diatas lelehan besi dan melindunginya dari proses oksidasi.

II.3. Paving block (bata beton).

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa tambahan bahan lainya yang tidak mengurangi mutu paving block .

Paving block mutu A dapat digunakan untuk jalan yang kekuatannya minimum 35 Mpa atau 357 kg/cm² , sedangkan paving block mutu B dapat digunakan untuk peralatan / lahan parkir yang kekuatan minimumnya 17 Mpa. atau 173 kg/cm², paving block mutu C dapat digunakan untuk pejalan kaki dengan kekuatan minimum 12,5 Mpa, paving block mutu D dapat digunakan untuk taman dan penggunaan lain dengan kekuatan minimum 8,5 Mpa. Kuat tekan dari paving block tersebut dipengaruhi oleh agregat yang ditambahkan kedalam campurannya.

Tabel II.1. Mutu Kuat Tekan dan Penyerapan Air Paving sesuai SNI 03 - 0691 - 1996.

Mutu	Kuat Tekan				Penyerapan Air
	Rata-rata		Minimum		Rata-Rata
	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	% Maks.
A.	40	408	35	357	3
B	20	204	17,0	173	6
C	15	153	12,5	128	8
D	10	102	8,5	87	10

Mutu A. : Digunakan untuk jalan.

Mutu B : Digunakan untuk peralatan parkir

Mutu C : Digunakan untuk pejalan kaki

Mutu D : Digunakan untuk taman dan penggunaan lain

$$1 \text{ Mpa} = 1,019716 \text{ Kg/cm}^2$$

Tabel II.2. Syarat-Syarat Fisis Bata Tras Kapur.

Syarat fisis	Tingkat mutu bata tras kapur pejal			Tingkat mutu bata tras kapur berlubang		
	I	II	III	I	II	III
1. Kuat tekan bruto * rata-rata minimum kg/cm ²	70	40	25	50	35	20
2. Kuat tekan bruto masing masing benda uji minimum kg/cm ²	65	35	21	45	30	17
3 Penyerapan air rata-rata maksimum %	35	-	-	35	-	-

* Kuat tekan bruto adalah beban tekan keseluruhan pada waktu benda uji pecah, dibagi dengan luas ukuran nyata dari bata termasuk luas lobang serta cekungan tepi.

BAB III.

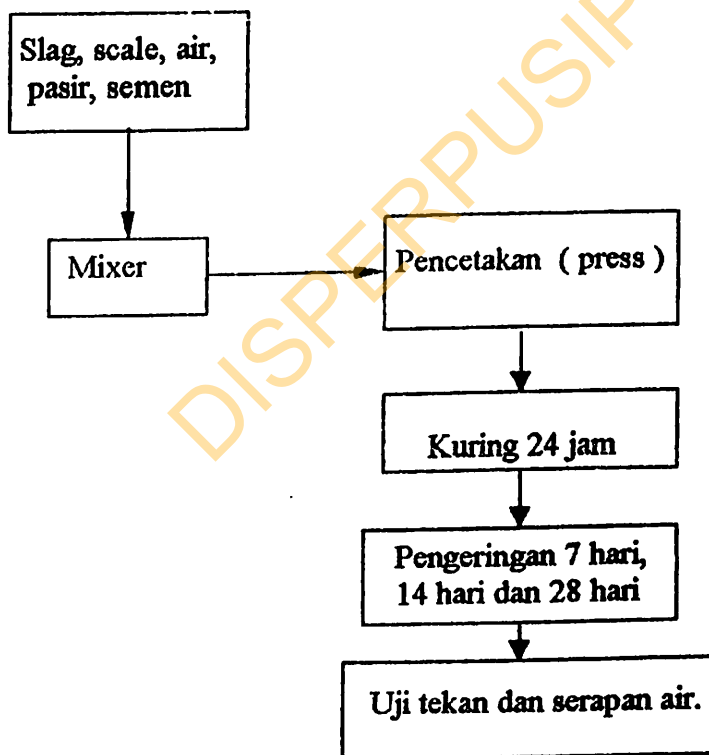
PELAKSANAAN PENELITIAN

III.1. Kegiatan Laboratorium.

Dilakukan analisa bahan baku dari slag, scale, abu batu, pasir dan kerikil, dimana bahan-bahan tersebut adalah bahan yang digunakan dalam campuran pembuatan benda uji (paving block).

Maksud analisa kimia ini adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam bahan- bahan tersebut. Analisa fisika yang dilakukan adalah untuk mengetahui kekuatan tekan dan penyerapan air dari bahan

Blok diagram pembuatan benda uji (paving block).



Skema (blok diagram) pembuatan diatas masing-masing sama untuk campuran (slag, pasir, semen, abu batu, air dan kerikil), (scale, slag, semen, abu batu, air) dan (slag, semen ,air).

Hasil analisa kekuatan tekan dan penyerapan air dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia SNI 03-0691-1996.

Cara-cara percobaan.

- Slag maupun scale yang digunakan adalah yang lolos ayakan mesh 5.
- Masing-masing campuran dengan 7 variasi setelah dicampur dengan baik (homogen) dimasukkan kedalam cetakan dan dipress.
- Sesudah ditekan, disimpan dalam rak pengering (kering udara) dan setelah 24 jam di berikan semprotan air (kuring).
- Dibiarkan selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari dalam tempat yang terhindar dari panas matahari dan hujan secara langsung.
- Uji kuat tekan sesuai dengan waktu diatas dan resapan air .

III.2. Kegiatan lapangan

Lokasi percobaan (penelitian) pembuatan paving block di salah satu wilayah di Sidoarjo, yang selama ini kebanyakan memproduksi paving dengan tipe K₁ (kekuatan tekan sekitar 500 kg/cm²).

Formula dibuat bervariasi dengan substitusi slag dan scale pada perbandingan tertentu

III.3. Bahan dan Alat .

Bahan-bahan yang digunakan antara lain :

- Slag
- Scale
- Pasir
- Semen
- Abu batu
- Kerikil
- Air

Alat.

a. Peralatan laboratorium.

- Ayakan mesh 5, mesh 100
- Oven
- Gelas ukur
- Timbangan
- Alat uji kekuatan tekan.

b. Alat dilapangan.

- Saringan kawat
- Alat pencampur
- Mesin cetak dan tekan
- Rak pengering
- Alat uji kekuatan tekan

Pelatihan atau uji coba dilakukan di daerah Sidoarjo yang diselenggarakan pada tanggal 11 sampai 18 Januari 1999.

Peserta terdiri dari para perajin industri paving di wilayah Sidoarjo, dan pada saat pembuatan dihadiri oleh : Perguruan Tinggi, Ciptakarya, Bapeda, Ketua Kelompok Industri Kecil Bahan Bangunan di Sidoarjo..

III.4. Survey.

Dilakukan di beberapa lokasi antara lain :

Dinas Perindustrian Daerah Tingkat II Kabupaten Sidoarjo, PT. Ispatindo, PT. Jatim Taman Steel, PT. Hanil Jaya dan Industri kecil paving di Sidoarjo.

Dari beberapa keterangan diperoleh bahwa ; limbah padat yang berupa slag, scale dan debu dari industri baja tersebut belum dimanfaatkan, dan selama ini penggunaannya hanya untuk pengurukan jalan.

BAB IV.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.

Berbagai analisa dan percobaan telah dilakukan dengan hasil - hasil sebagai berikut :

IV.1. Hasil Penelitian.

Tabel IV.1. Hasil analisa slag dan scale dari industri baja.

No.	Parameter	Slag %	Scale %
1.	Air 105° C	0,31	2,41
2.	Hilang pijar	1,13	0,96
3.	Silikat (SiO ₂)	14,56	0,51
4.	Aluminium oksida (Al ₂ O ₃)	14,07	8,92
5.	Besi oksida (Fe ₂ O ₃)	34,64	84,06
6.	Kalsium oksida (CaO)	21,05	0,67
7.	Magnesium oksida (MgO)	9,44	0,76
8.	Titan oksida (TiO ₂)	0,0	0,0
9.	Mangan oksida (MnO ₂)	4,38	0,62
10.	Phospor pentaoksisa (P ₂ O ₅)	0,10	0,14
11.	Sulfat (SO ₄)	0,12	0,55
12.	Krom (Cr)	0,09	0,017
13.	Nikel (Ni)	0,0	0,053
14.	Tembaga (Cu)	0,024	0,13
15.	Cadmium (Cd)	0,0	0,0

16.	Zeng (Zn)	0,08	0,008
17.	Timah (Pb)	0,0	0,0
18.	Kobalt (Co)	0,0	0,003

Tabel IV.2. Hasil analisa Abu batu dan Kerikil.

No.	Parameter	Abu batu %	Kerikil %
1.	Air 105 ° C	0,57	0,85
2.	Hilang pijar	1,61	1,57
3.	Aluminium oksida (Al ₂ O ₃)	22,32	24,00
4.	Silika (SiO ₂)	54,83	53,68
5.	Besi oksida (Fe ₂ O ₃)	10,02	9,95
6.	Kalsium oksida (CaO)	7,62	6,44
7.	Magnesium oksida (MgO)	3,21	3,01

Tabel IV. 3. Hasil analisa Pasir.

No	Parameter	Satuan %
1.	Air 105 ° C	2,71
2.	Hilang pijar	0,07
3.	Silikat (SiO ₂)	92,74
4.	Besi oksida (Fe ₂ O ₃)	4,46

Tabel IV.4. Hasil analisa rata-rata penyerapan air (paving)

Kode	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
% rata-rata	2,83	4,25	5,42	4,79	5,00	4.10	3,36

Tabel IV.5. Hasil Analisa Kekuatan Tekan Benda uji (Paving Umur 7 hari) kg/cm²

Kode		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
U 1 a n g a n	1	514,11	320,57	206,16	189,08	72,80	495,91	187,13
	2	498,66	318,83	182,59	190,20	68,88	528,61	188,89
	3	540,20	308,83	202,53	183,12	76,62	485,11	199,22
	4	522,15	325,12	190,73	188,00	65,06	505,52	176,80
	5	502,45	319,73	185,68	175,48	71,74	496,28	174,98
	6	539,45	308,83	177,60	168,57	69,94	520,10	201,04
	7	533,10	294,20	205,32	168,40	74,11	490,98	197,92
	8	541,31	299,73	213,40	170,60	67,57	530,96	200,54
	9	528,61	334,25	175,93	169,52	73,45	520,70	175,48
	10	495,97	339,78	215,07	190,03	68,23	530,82	178,10
Rata-Rata		521,60	316,99	195,50	179,30	70,84	510,50	188,01

Tabel IV.6. Hasil Analisa Kekuatan Tekan Benda uji (Paving Umur 14 hari) kg/cm^2 .

Kode		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
U i a n g a n	1	528,61	408,72	212,53	190,42	87,86	512,26	200,20
	2	544,96	408,72	196,18	184,62	91,98	517,71	192,16
	3	543,58	432,28	190,73	200,31	85,72	512,26	185,29
	4	570,07	440,35	191,39	173,05	94,12	512,26	207,07
	5	535,00	417,58	210,00	185,55	84,36	522,36	212,14
	6	552,30	430,00	198,60	183,00	95,48	502,16	205,08
	7	558,47	433,10	190,86	195,75	86,02	492,39	210,17
	8	538,58	436,82	204,50	167,49	93,82	532,13	187,28
	9	558,60	416,80	198,16	196,18	88,94	530,09	182,19
	10	548,20	426,98	196,80	195,63	90,90	494,43	180,22
Rata-Rata		547,84	425,14	198,98	187,20	89,92	512,81	196,18

Tabel IV.7 Hasil Analisa Kekuatan Tekan Benda Uji Memenuhi Mutu A & B.

Ulang an	Perlakuan						Total
	K ₁ 7 hr	K ₂ 7 hr	K ₆ 7 hr	K ₁ 14 hr	K ₂ 14 hr	K ₆ 14 hr	
1	514,11	320,57	495,91	528,61	408,72	512,26	2780,18
2	498,66	318,83	528,61	544,96	408,72	517,71	2817,49
3	540,20	308,83	485,11	543,58	432,28	512,26	2822,26
4	522,15	325,12	505,52	570,07	440,35	512,26	2875,47
5	502,45	319,73	496,28	535,00	417,58	522,36	2793,40
6	539,45	308,83	520,10	552,30	430,00	502,16	2852,84
7	533,10	294,20	490,98	558,47	433,10	492,39	2802,24
8	541,31	299,73	530,96	538,58	436,82	532,13	2879,53
9	528,61	334,25	520,70	558,60	416,80	530,09	2889,05
10	495,97	339,78	530,82	548,20	426,98	494,43	2836,18
Total	5216,00	3169,90	5105,00	5478,40	4251,40	5128,10	2834,88
Rata-rata	521,60	316,99	510,50	547,84	425,14	512,81	

Tabel diatas adalah hasil analisa kekuatan tekan benda uji yang memenuhi mutu A dan B, dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia SNI 03 - 0691 - 1996.

Dari angka-angka kekuatan tekan tersebut terlihat ada perbedaan antara perlakuan-perlakuan tersebut.

Tabel berikut adalah hasil analisa statistik dari Tabel IV.7 diatas.

Tabel IV.8. Analisa Variance dari tabel IV.7.

S K	db	JK	KT	F hitung	F. 5 %	F.1 %
Perlakuan	5	375.821,494	75.164,2998	* 353,94	2,43	3,47
ulangan	9	2.038,732	226,5258			
Acak (error)	45	9.556, 403	212,3645			
Total	59					

* Beda nyata

Dari Tabel IV.8 Anava diatas, diantara perlakuan terdapat perbedaan yang nyata (significan) karena F hitung lebih besar dari pada yang ada di tabel F 5 % dan F 1 %.

Untuk menentukan perlakuan perbedaan diantara masing-masing perlakuan diteruskan dengan mencari Beda Nyata Terkecil (BNT).

$$\text{BNT.5 \%} = t.5 \% (\text{db acak}) \times \text{SED}$$

$$= 2,016 \times \sqrt{\frac{2 \times 212,3645}{10}} = 13,1385.$$

$$\text{BNT.1 \%} = t. 1 \% (\text{db acak}) \times \text{SED}$$

$$= 2,693 \times \sqrt{\frac{2 \times 212,3645}{10}} = 17,5506.$$

Lalu dibuat tabel untuk BNT. 5 % seperti berikut.

Tabel IV.9. BNT.5 % = 13,1385.

Perlakuan	Kuat tekan rata-rata	Notasi dengan BNT 5 %
K ₂ .7 hr.	316,99	a
K ₂ .14 hr	425,14	b
K ₆ .7 hr	510,50	c
K ₆ .14 hr	512,81	c
K ₁ .7 hr	521,60	c
K ₁ .14 hr.,	547,84	d

Tabel IV.10. Hasil analisa penyerapan air dari paving .

Kode	Ulangan % B/B					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
K ₁	2,92	2,74	2,89	2,63	2,97	2,83
K ₂	4,35	3,82	3,94	4,56	4,58	4,25
K ₃	5,21	5,60	5,33	5,51	5,45	5,42
K ₄	4,61	4,90	4,82	4,76	4,86	4,79
K ₅	5,05	5,09	4,79	5,16	4,91	5,00
K ₆	4,15	3,95	4,22	3,99	4,19	4,10
K ₇	3,42	3,30	3,52	3,21	3,35	3,36

Tabel IV.11. Hasil analisa rata-rata kekuatan tekan benda uji paving.

Kode	Umur 7 hr. kg/cm ²	Umur 14 hr. kg/cm ²
K ₁	521,60	547,84
K ₂	316,99	425,14
K ₃	195,50	198,98
K ₄	179,30	187,20
K ₅	70,84	89,92
K ₆	510,50	512,81
K ₇	188,01	196,18

Keterangan : Kode K adalah perbandingan berat pemakaian antara semen, pasir, slag dan bahan campuran lain.

K₁ adalah 1:1:3; K₂ adalah 1:1:4; K₃ adalah 1:1:5; K₄ adalah 1:5; K₅ adalah 1:6; K₆ adalah 1:1¹/₂:2¹/₂ dan K₇ adalah 1:3.

Angka 1 (pertama) dan kedua pada kode K₁, K₂ dan K₃ berturut - turut adalah pasir dan semen.

Pada kode K₁, K₂, dan K₃ angka 3, 4 dan 5 adalah Slag dan (abu batu + kerikil) dengan perbandingan 47 % dan 53 %.

Pada kode K₄ angka 1 adalah semen, angka 5 adalah slag dan scale 50 % : 50 %.

Pada kode K₅ angka 1 adalah semen, angka 6 adalah slag dan scale 50 % : 50 %.

Pada kode K₅ ini pemakaian slag dan scale lebih banyak dibandingkan kode K₄.

Pada kode K₆ angka 1 adalah pasir, angka 1¹/₂ adalah semen dan angka 2¹/₂ adalah slag. Pada kode K₇ dengan perbandingan 1:3, angka 1 adalah semen, angka 3 adalah slag.

IV.2. Pembahasan.

Dari Tabel IV.1 terlihat, hasil analisa kimia bahan baku dari pabrik baja yakni slag dan scale. Jumlah persentase kadar silikat, besi oksida dan aluminium oksida dari bahan slag adalah 63,27 %.

Menurut ASTM jumlah diatas tersebut yang memenuhi persyaratan adalah sebesar 70 % minimum jadi dalam hal ini bahan slag kurang memenuhi persyaratan sebagai pengganti semen, maka perlu ditambahkan bahan semen maupun pasir untuk campuran, sehingga pengikatan dalam bahan campuran semakin kuat.

Dari hasil analisa kimia bahan scale, terlihat jumlah silikat, besi oksida dan aluminium oksida sebesar 93,49 % jauh lebih besar dari 70 % yang dipersyaratkan. Karena komposisi persentase tersebut tidak seimbang, sehingga perlu ditambahkan bahan lain yang mengandung silikat dan aluminium oksida. Kadar besi oksida tinggi dan teksturnya rapuh, sehingga hasil kekuatan tekannya juga rendah itu dapat terlihat pada penggunaan scale di kode K₄ dan K₅.

Persentase ini menentukan hasil kekuatan ikatan dalam campuran bahan tersebut, sehingga penambahan semen maupun pasir dapat di variasi sesuai dengan kekuatan tekan yang dibutuhkan. Pada Tabel IV.2. dan Tabel IV.3. dapat terlihat juga bahwa jumlah persentase tersebut memenuhi persyaratan. Dalam campuran tersebut, dicari perbandingan yang saling memberikan kekuatan ikatan satu sama lain.

Hasil analisa rata-rata penyerapan air terlihat pada Tabel IV.4.

Kode K₁ dengan kekuatan yang memenuhi mutu A, adalah memenuhi persyaratan sesuai SNI 03-0961-1996 yaitu maksimum 3 %.

Pada kode K₁, K₂ dan K₃ pemakaian slag lebih besar pada K₃ dan ternyata penyerapan airnya juga lebih besar dibandingkan K₂ dan K₁, ini kemungkinan terjadi karena bahan slag mempunyai rongga seperti pori-pori pada batu apung. Pori-pori itu besarnya tidak merata, dan dapat dilihat bila bahan slag itu dipecah. Karena bahan slag yang digunakan berukuran lolos mesh 5, berarti pada slag yang ukuran butirnya lolos mesh 5 kemungkinan masih ada rongga yang belum pecah. Demikian juga pada kode K₄ dan K₅, pemakaian slag lebih banyak pada K₅ dibandingkan K₄, dan penyerapan airnya pun lebih besar K₅ dibandingkan K₄.

Pada kode K₇, penyerapan air lebih kecil dibandingkan K₂, K₃, K₄, K₅ dan K₆. Kemungkinan ini karena campuran hanya terdiri dari semen dan slag, sehingga pada waktu terjadi pengikatan saat proses hidrasi campuran bahan, semen yang butirannya sangat halus dapat mengisi rongga yang masih terdapat pada slag.

Pada Tabel IV.5. adalah hasil analisa kekuatan tekan benda uji paving pada umur 7 hari. Pada umur tersebut, kode K₁ dan K₆ telah memenuhi mutu A. K₂ memenuhi mutu B, sedangkan K₃, K₄ dan K₇ memenuhi mutu C atau mutu B kekuatan minimum, kode K₅ tidak memenuhi mutu.

Pada Tabel IV.6. hasil analisa kekuatan tekan umur 14 hari, terlihat masih ada kenaikan kekuatan tekannya. Pada kode K₃, K₄ dan K₆ hanya sedikit kenaikannya, kenaikan ini tergantung pada lamanya terjadi proses hidrasi. Pada suatu saat kenaikan

tekan tidak bertambah lagi bila proses pengikatan sudah selesai. Pada umur 14 hari, K_2 sudah memenuhi mutu A, dan K_5 dapat memenuhi mutu D minimum.

Mutu D ini bisa digunakan untuk dinding pada perumahan rumah, karena kekuatannya memenuhi mutu Batako yaitu 70 kg/cm^2 , seperti pada Tabel II.2. Pada kode K_5 kekuatan tekan rendah, karena pada perlakuan ini dicoba dicampur dengan scale, dimana limbah padat ini juga adalah hasil samping dari pabrik baja. Scale ini berbentuk seperti serpihan dan agak rapuh sehingga kemungkinan mengakibatkan kekuatannya berkurang.

Sesudah umur 14 hari, kenaikan hampir tidak ada, kemungkinan pada umur ini proses hidrasi sudah sempurna, sehingga tidak ada lagi kenaikan kekuatan tekannya. Dari hasil analisa kekuatan tekan yang memenuhi mutu A dan B seperti terlihat pada Tabel IV.7, dengan perhitungan statistik model rancangan untuk lapangan, dapat dilihat apakah perlakuan yang satu dengan yang lain ada perbedaan yang signifikan.

Tabel IV.8 adalah analisa variance dari Tabel IV.7. dapat dihitung beda nyata terkecil 5 % sebesar 13,1385 dan beda nyata terkecil 1 % adalah 17,5506.

Dari BNT 5 % seperti pada Tabel IV.9. dapat dilihat pada kode K_2 (7 hari) berbeda nyata dengan kode K_2 (14 hari) dan berbeda nyata dengan kode K_6 (7 dan 14 hari) serta Kode K_1 (7 hari). Yang tidak berbeda nyata adalah kode K_6 (7 hari), K_6 (14 hari) dan K_1 (7 hari). Ketiga kode ini berbeda nyata dengan kode K_1 (14 hari). Yang paling terbaik dari perhitungan ini adalah kode K_1 (14 hari).

Dari analisa perhitungan ekonomi dapat diketahui efisiensi pemakaian slag pada campuran pembuatan berda uji tersebut.

IV.3. Perhitungan Analisa Ekonomi.

Untuk menghitung Analisa ekonomi, substitusi slag yang dicampurkan kedalam bahan, dibandingkan dengan hasil produk industri dengan mutu kekuatan tekan yang sama atau lebih besar dari 500 kg/cm^2 .

Dibuat basis perhitungan untuk 1.000 buah produk paving block.

Harga-harga bahan pada saat laporan ini dibuat.

- Semen = Rp. 17.500/ kg
- Pasir = Rp. 28.000 / m^3 , berat jenis 2,4gr/ cc
- Kerikil = Rp. 28.000/ m^3 , berat jenis 2,25 gr/cc
- Abu batu = Rp. 18.000/ m^3 , berat jenis 2,35 gr/cc, dan berat jenis slag 3,1 gr/cc

Paving campuran slag.

Untuk 1.000 buah produk pada percobaan dengan mutu 500 kg/cm^2 atau lebih bahan-bahan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- Semen = 770 kg,
- Pasir = 770 kg
- Slag = 1.077 kg
- Abu batu = 962 kg
- Kerikil = 308 kg

Harga-harga bahan tersebut sebagai berikut ::

- Semen = $\text{Rp.} 17.500/50 \times 770 = \text{Rp.} 269.500,-$ (1)
- Pasir = $\text{Rp.} 28.000/2.400 \times 770 = \text{Rp.} 8.983,-$ (2)
- Abu batu = $\text{Rp.} 18.000/2.350 \times 962 = \text{Rp.} 7.369,-$ (3)
- Kerikil = $\text{Rp.} 28.000/2.250 \times 308 = \text{Rp.} 3.833,-$ (4)

Harga slag.

Diperhitungkan alat yang digunakan untuk memecahkan slag menjadi butiran dengan ukuran lolos mesh 5

Harga alat (stone crusher) buatan Eropa harga Rp. 50.000.000 dengan umur 30 tahun.

Kapasitas produksi 3 ton/jam = 3 x 7 jam/hr = 21 ton/ hari.

Untuk 30 th = 21 x 300 x 30 = 189.000 ton/ tahun.

Harga per ton slag = 50.000.000/189.000 Rp. 264,55,-

Untuk 1.000 produk dibutuhkan slag 1.077kg = Rp. 284,9,- (biaya alat)

Beaya angkut dalam kota dianggap Rp. 50.000,-/ 6 m³ = Rp. 8.333,3/ m³.

Untuk 1.000 produk beaya angkut Rp. 2,68817 x 1.077 = Rp. 2.895,-

Tenaga operasi alat 3 orang @ Rp. 10.000 = Rp. 30.000/hari

Untuk setiap ton = Rp.30.000/21 ton = Rp. 1.428,6/ ton.

Untuk 1.000 produk = 1428,6/ 1.000 x 1.077 = Rp. 1.538,5,- (upah)

Pemeliharaan alat 2 % x Rp. 50.000.000,-/ tahun Rp. 158,73/ ton.

Untuk 1.000 produk = Rp. 127/1.000 x 1.077 = Rp. 136,7,- (biaya pemeliharaan)

Beaya listrik 8 HP. = 8 x 0,746 = 5,968 KW/ jam = Rp. 596,8 / ton

= Rp. 642,7/ 1.000 produk

Biaya Depresiasi alat = Harga awal alat kurang harga akhir alat dibagi umur alat.

= $\frac{\text{Rp } 50.000.000 - \text{Rp } 500.000}{30 \text{ tahun}}$ = Rp 1.650.000 per tahun

= Rp 270 untuk 1000 produk.

Jumlah beaya total (alat + upah + pemeliharaan + depresiasi alat + beaya listrik + biaya angkut) untuk slag = Rp. 5.767,- (5)

Jumlah beaya untuk percobaan = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) = Rp. 295.452,-

Pembandingan.

Untuk 1.000 produk paving buatan industri dengan mutu diatas, material yang digunakan adalah :

Semen = Rp. 1.260 kg x Rp. 17.500/ 50 kg = Rp. 441.000,- (A)

Pasir = Rp. 1.787,5 kg x Rp. 28.000/2400 kg = Rp. 20.854,167 (B).

Abu batu = Rp. 570 x Rp. 18.000/2.350 = Rp. 4.365,95 (C)

Kerikil = 500 x 28.000/2.250 = Rp. 6.222,22 (D).

Jumlah A + B + C + D = Rp. 472.442,339,-

Pemakaian slag akan mengurangi beaya produksi ;

Efisiensi = $\frac{\text{Rp. 472.442.339} - \text{Rp. 295.452}}{\text{Rp. 472.442.339}} \times 100 \% = 37,46 \%$

BAB V

Kesimpulan dan saran.

1. Terak (Slag) dan Scale adalah hasil samping dari 3 Pabrik Baja dan Besi berupa limbah padat yang ada di Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur. Potensi limbah tersebut kira-kira 100.000 ton per bulan.
2. Dalam pembuatan campuran bahan bangunan, penggunaan Terak dan Scale adalah berupa substitusi pasir atau agregat lain.
3. Pada perbandingan 1:1:3 dan 1:1:4 antara campuran Semen, Pasir dan Terak tambah Abu batu dan Kerikil menghasilkan kekuatan tekan berturut-turut sebesar 547,84 kg/cm² dan 425,14 kg/cm². Hasil ini memenuhi mutu A sesuai SNI 03-0691-1996 yang dapat digunakan untuk jalan.
4. Pada perbandingan 1:1:4 dan 1:1:5 antara campuran Semen, Abu batu dan Scale tambah Terak menghasilkan kuat tekan berturut-turut sebesar 198,98 kg/cm² dan 187,20 kg/cm². Hasil ini memenuhi mutu B minimum atau mutu C sesuai Standar Nasional Indonesia dan dapat digunakan untuk pelataran parkir dan pejalan kaki.
5. Pada perbandingan 1:5 antara campuran Semen dan Scale tambah Terak menghasilkan kuat tekan sebesar 89,92 kg/cm². Hasil ini memenuhi mutu D minimum sesuai SNI dan dapat digunakan sebagai pengganti Batako untuk perumahan murah.
6. Pada perbandingan 1:1¹/₂:2¹/₂ antara Pasir, Semen dan Terak, menghasilkan kuat tekan sebesar 512,81 kg/cm². Hasil ini memenuhi mutu A sesuai SNI dan dapat digunakan untuk jalan.

7. Pada perbandingan 1:3 antara Semen dan Terak menghasilkan kuat tekan sebesar $196,18 \text{ kg/cm}^2$. Hasil ini memenuhi mutu C atau mutu B minimum.
8. Penyerapan air yang memenuhi mutu A adalah kode K_1 sebesar 2,83%. Perlakuan K_2 sampai K_3 memenuhi mutu B yaitu lebih kecil dari 6%.
9. Perhitungan statistik menunjukkan, kekuatan tekan dan penyerapan air yang paling baik adalah perlakuan K_1 .
10. Analisa perhitungan Ekonomi dengan penambahan Terak atau Scale menemukan efisiensi sebesar 37,46%.
11. Kepada pihak Industri Baja dan Besi disarankan agar Terak pada saat keluar dari proses, disemprotkan dengan air untuk menghindari terjadinya gumpalan-gumpalan Terak yang sangat besar. Dengan cara penyemprotan ini maka Terak yang keluar menjadi bentuk butiran butiran yang kecil.