

**LEMBAR
HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW RANCANGAN**

Judul Rancangan : Rancangan Karakteristik Beton Mutu Tinggi Dengan Menggunakan Limbah Peleburan Nikel Dan Pembakaran Batubara

Jumlah Penulis : 3 (Tiga) Orang

Nama Pengusul : 1. Penulis Pertama (Nur Fauzan)
2. Penulis Kedua (Bertinus Simanihuruk)
3. Penulis Ketiga (Hikma Dewita)

Nama Penilaian : Dr. Mardiaman, ST, MT

Pangkat/Golongan : Lektor Kepala, Pembina/IV-a

Hasil Penilaian Validasi

No.	Aspek	Uraian/Komentar Penilaian
1.	Indikasi Plagiasi	Rancangan ini menunjukkan orisinalitas karya yang baik
2.	Linieritas	Rancangan ini dibuat berdasarkan prinsip rancangan campuran beton menggunakan bahan buangan air kelapa dan abu sekam

Komponen Yang Dimulai	Nilai Maksimal Membuat Rancangan dan Karya Teknologi		Nilai Akhir Yang Diperoleh
	International <input type="checkbox"/>	Nasional <input checked="" type="checkbox"/>	
a. Kelengkapan dan kesesuaian unsur isi rancangan (10 %)		2	2
b. Ruang lingkup dan kedalaman ciptaan (30%/		6	6
c. Kecukupan dan Kemutakhiran data informasi dan metodologi ciptaan (30%)		6	5
d. Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit (30%)		6	5
Total = (100 %)		20	
Nilai Pengusul =			18

Catatan Penilaian oleh Reviewer

Kelengkapan dan kesesuaian unsur isi rancangan : unsur-unsur desain lengkap dan sudah sesuai

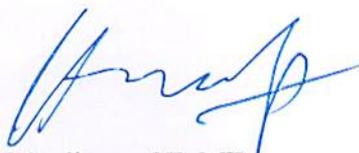
Ruang lingkup dan kedalaman rancangan : rancangan cukup menarik

Kecukupan dan kemutakhiran data/informasi dan metodologi ciptaan : desain yang tersajji dan metodologi rancangan cukup memadai

Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit : rancangan diterbitkan oleh Universitas Tama Jagakarsa

Jakarta, 14 Juli 2022

Reviewer I



Dr. Mardiaman, ST, MT
NIP/NIDN 0024096702



Disetujui
Kepala LPPM

Dr. Irna Sjafei, M.Pd

**LEMBAR
HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW RANCANGAN**

Judul Rancangan : Rancangan Karakteristik Beton Mutu Tinggi Dengan Menggunakan Limbah Peleburan Nikel Dan Pembakaran Batubara

Jumlah Penulis : 3 (Tiga) Orang

Nama Pengusul : 1. Penulis Pertama (Nur Fauzan)
2. Penulis Kedua (Bertinus Simanihuruk)
3. Penulis Ketiga (Hikma Dewita)

Nama Penilaian : Dr. Ir. Moh Azhar, M.Sc

Pangkat/Golongan : Lektor Kepala, Pembina Tk I/IV-b

Hasil Penilaian Validasi

No.	Aspek	Uraian/Komentar Penilaian
1.	Indikasi Plagiasi	Rancangan ini menunjukkan orisinalitas karya yang baik
2.	Linieritas	Rancangan ini dibuat berdasarkan prinsip rancangan campuran beton menggunakan bahan buangan air kelapa dan abu sekam

Komponen Yang Dimulai	Nilai Maksimal Membuat Rancangan dan Karya Teknologi		Nilai Akhir Yang Diperoleh
	International <input type="checkbox"/>	Nasional <input checked="" type="checkbox"/>	
a. Kelengkapan dan kesesuaian unsur isi rancangan (10 %)		2	2
b. Ruang lingkup dan kedalaman ciptaan (30%/		6	6
c. Kecukupan dan Kemutakhiran data informasi dan metodologi ciptaan (30%)		6	5
d. Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit (30%)		6	5
Total = (100 %)		20	
Nilai Pengusul =			18

Catatan Penilaian oleh Reviewer

Kelengkapan dan kesesuaian unsur isi rancangan : unsur-unsur desain lengkap dan sudah sesuai

Ruang lingkup dan kedalaman rancangan : rancangan cukup menarik

Kecukupan dan kemutakhiran data/informasi dan metodologi ciptaan : desain yang tersajji dan metodologi rancangan cukup memadai

Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit : rancangan diterbitkan oleh Universitas Tama Jagakarsa

Jakarta, 14 Juli 2022

Reviewer II



Dr. Ir. Moh Azhar, M.Sc
NIP/NIDN 0331076205



Dr. Irna Sjafei, M.Pd

KAJIAN AKADEMIS KARAKTERISTIK BETON MUTU TINGGI DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH PELEBURAN NIKEL DAN PEMBAKARAN BATUBARA

Nur Fauzan¹, Bertinus Simanihuruk², Hikma Dewita³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tama Jagakarsa, Jl.TB. Simatupang No.152 Tanjung Barat Jakarta

Email : ¹nurfauzan609@gmail.com, ²bsimanihuruk@gmail.com, ³dewitahikma@gmail.com

ABSTRAK

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah digunakan untuk bangunan. Beton dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) ditambah dengan pasta semen, air, dan bahan tambahan lainnya dengan nilai perbandingan tertentu. Dalam penelitian ini digunakan bahan tambahan dengan menggunakan limbah berupa peleburan baja dan pembakaran batu bara. Bertujuan untuk mengurangi jumlah semen yang akan di gunakan karena setiap penggunaan semen akan ada pencemaran udara dan oleh sebab itu adanya penelitian ini dapat mengurangi pencemaran udara beserta limbah yang sudah tidak terpakai agar menjadi bahan yang berguna dan bermanfaat, kandungan yang terdapat di beton ini slag dan fly ash menjadi 40% dengan slag 10% dan fly ash 30% dengan jumlah smen yang akan di pakai untuk beton mutu fc 45, pengujian dilakukan dengan umur beton 7 hari, 28 hari dan 56 hari. Beton normal di umur 7 hari memiliki uji kuat 37,92 Mpa, 28 hari 37,63 Mpa, 56 hari 36,69. Dan beton campuran memiliki kuat di hari ke 7 adalah 25,18 Mpa, 28 hari 45,55 Mpa dan di 56 hari 39,61 menjadikan hasil ini semakin banyak fly ash dan slag mengurangi kuat beton pada umur 56 dan betomn normal memiliki penurunan di umur 28 tetapi naik dengan segnifikan pada saat umur beton 56 hari, walaupun masih di bawah beton normal hal ini dapat di kaji ulang karena beton ini termasuk dengan beton yang ramah lingkungan.

Kata kunci : perbandingan, beton normal , beton campuran, *slag* dan *fly ash*

PENDAHULUAN

Beton ialah material bangunan yang pada saat ini sudah sangat banyak digunakan. Pembangunan saat ini sudah di dominasi bangunan permanen yang bahanya mnggunakan bahan baku beton. Beton sangatlah memiliki peranan yang penting yaitu harus memiliki kualitas yang meadahi dan bagus. Banyak penelitian-penelitian yang membahas beton untuk memiliki hasil yang bagus atau yang lebih maksimal dengan tujuan mendapatkan hasil yang efisien, sehingga menjadi beton yang maksimal. Beton mempunyai peranan yang sangatlah penting, karena beton sekarang memiliki pembentuk struktur yang paling banyak di gunakan masyarakat. Keadaan saat ini dapat diterima, sebab menggunakan konstruksi beton memiliki banyak kelebihan dibanding dengan matrial lainnya. Kelebihan beton sebagai bahan konstruksi antara lain memiliki kuat tekan yang tinggi, fleksibel mengikuti bsntuk kostruksi secara bebas, tahan terhadap api dan biaya yang cukup murah dan mudah, sehingga diperlukan suatu inovasi baru terhadap beton tersebut dalam alternatif penggunaan material dasarnya. Adapun inovasi tersebut dengan memanfaatkan limbah sebagai bahan baku campuran pembuatan beton.

Salah satu limbah yang ingin di dimanfaatkan adalah fly ash . pemanfaatan limbah fly ash di perlukan untuk bahan bangunan teknik sipil, tetapi hasil pemanfaatan tersebut belum dapat di lakukan di masyarakat secara maksimal, Limbah adalah hasil pembuangan dari suatu proses produksi, baik industri maupun domestik (rumah tangga). Secara umum limbah rumah tangga maupun industri di lihat tidak memiliki nilai yang bagus atau jelek. Selain itu limbah yang di

hasilkan terdapat kandungan racun yang sangatlah berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan sekitar. Dan limbah seperti ini biasa di sebut juga dengan limbah B3 atau bahan beracun berbahaya.

Terkait dengan karakteristiknya, limbah bshsn berscun dan berbahaya pabrik (industri) yaitu terdapat empat bagan, yaitu limbah cair, limbah padat, limbah partikel yang tidak teridentifikasi dan limbah gas. Limbah bahan beracun berbahaya dapat muncul dari bahan apa saja termasuk dari bahan kimia kadaluwarsa, bekas kemasan makanan atau yang lainnya, tumpahan bahan yang tidak steril, bekas produk yang tidak sesuai dengan spesifik yang ada, maupun sumber yang tidak jelas asalnya. Limbah B3 bisa mengakibatkan beberapa pencemaran yang lebih berbahaya jika tidak dapat mengelola dengan cara yang tepat, di karenakan karakteristiknya yang dapat menjadi infeksi, menimbulkan ledakan atau terbakar, korosi, reaktif dan sangat beracun.

Abu terbang atau fly ash ialah bekas komposisi dari limbah proses produksi batu bara, yang di nilai sebagai limbah bahan beracun berbahaya. Saat ini hasil pembakaran batu bara ini sering di npakai sebagai pengganti semen dalam pembuatan campuran beton dan menjadi bahan untuk menetralkan tanah ekspansif.

Pemerintah sudah menerapkan kebijakan terbaru yaitu bahan beracun berbahaya atau B3 dan bukan limbah bahan beracun berbahaya. Pengaturan tersebut terdiri dalam peraturan pemerintah No 22 tahun 2021 mengenai penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Peraturan pemerintah ini ialah salah satu dari undang-undang nomor 11 tahun 2020 mengenai cipta kerja. Penjelasan ini di jelaskan pada Pasal 459, partikel hasil pengelolaan batu bara berasal dari pembangkit listrik tenaga uap atau di singkat dengan kata PLTU dan hal lainnya sudah tidak termasuk sebagai limbah B3. Mengenai adanya peraturan pemerintah 22/2021 menjadikan pencabutan sekaligus 5 aturan yang terdahulu yaitu peraturan pemerintah 101/2014 tentang Pengelolaan limbah bahan beracun dan berbahaya, peraturan pemerintah 27/2012 tentang izin lingkungan hidup, peraturan pemerintah 82/2001 mengenai pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, peraturan pemerintah 41/1999 mengenai pengendalian pencemaran Dan/Atau Perusakan Laut. Setelah itu peraturan terbaru tersebut menjadi berubah peraturan pemerintah 46/2017 tentang Instrumen Ekonomi Lingkungan Hidup.

Penggunaan limbah *steel slag* sebagai bahan substitusi agregat halus dan fly ash atau abu terbang batu bara sebagai bahan substitusi semen. *Steel slag* adalah residu pengelolaan tanur tinggi yang dihasilkan oleh pabrik peleburan baja berupa limbah steel slag yang secara fisik berbentuk halus dan granular ((Mulyono, 2004 dalam Ramadhan, Kurniawandy & Djauhi, 2016)).

Seiring dengan upaya pelestarian lingkungan, telah banyak dilakukan penelitian pemanfaatan *steel slag* sebagai bahan pengganti dalam komposisi pembuatan beton yang memiliki hasil positif. *fly ash* merupakan material sisa-sisa pembakaran batu bara yang sudah tidak terpakai. Pembakaran batu bara banyak yang digunakan pada pembangkit listrik pembangkit uap atau sering di sebut PLTU, bahan ini mempunyai komposisi smeemen yang cukup tinggi . dikarenakan hal ini, di coba agar abu yang terbang terdapat menjadi bahan yang dapat digunakan, antara lain pengembangan fly ash batubara menjadi matrial pengganti beberapa persen semen pada campuran beton. Penambahan abu terbang pada pencampuran beton bersifat tras (pozzolan), sehiongga dapat menjadikan additive mineral yang baik untuk beton. *Pozzolan* ialah matrial yang ber komposisi alumunium yang bereaksi terhadap kimia besama kalsium hidroksida pada suhu setandar menjadikan membentuk senyawa mengikat dan kalsium (Ramadhan, Kurniawandy & Djauhi, 2016).

Pemanfaatan bahan fly ash sebagai bahan penyatu beton di ketahui bahan ini yang mempunyai kemiripan dengan karakteristik semen. Kemiripan karakteristik ini dapat tinjau dari 2 karakteristik karakteristik utama yaitu kimiawi dan fisik. Secara kimiawi mengandung bahan pengikat dan fisik memiliki kemiripan seperti butiran-butiran yang halus.

Berdasarkan ACI Committee 226 (Umboh, Sumajouw & Windah, 2016), *fly ash* memiliki butiran yang lumayan halus. Dengan lolos ayakan nomor 325 atau 45 mili micron yaitu 5% sampai 27% dengan spesifik gravity di antara 2.15 sampai 2.6 dan berwarna hitam keabu abuan. Komposisi kimia yang di miliki oleh fly ash yaitu alumina dan silika dengan perbandingan sampai 80%. Dengan kemiripan beberapa sifat ini menjadikan fly ash menjadi bahan pengganti matrial untuk menurunkan jumlah semen sebagai bahan penyusun beton mutu tinggi. Pemberlakuan penambahan fly ash menjadi bahan pembuat beton membuat hal yang baik jika di ketahui dari segi lingkungan, fly ash adalah limbah pembakaran batu bara yang cukup halus. Kehalusan partikel fly ash ini dapat mempengaruhi pencemaran udara dengan adanya hal ini, pemanfaatan fly ash pada saat ini sangat terbatas dengan adanya penimbunan yang lumayan banyak di lahan bebas atau kosong (Sumanjouw Umboh dan Windah, 2016)

Limbah slag baja yang merupakan sisa dari pembuatan baja. Sedangkan, *slag* adalah sisa dari residu pembakaran tanur yang cukup panas, yang terdapat oleh pabrik peleburan baja yaitu salah satunya ialah limbah slag yang secara kasat mata seperti agregat kasar. *slag* dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, mulai dari konstruksi, pengolahan air limbah, pupuk dan bahan perbaikan tanah sampai proses pembuatan semen. kandungan *slag* rata-rata pada terak besi adalah sebesar 41,54%. hal inilah yang menjadi salah satu kelebihan terak besi, karena dengan kandungan silika yang tinggi maka dapat memberikan daya ikat yang kuat antara semen dengan agregat, (Seprianto Anggaraeni, Supriyo dan Fatmawati, 2017). Kementerian perindustrian mengatakak mengenai pabrik peleburan baja dan pemurnian lokal pertahun yaitu memiliki hasil sekitar 21.8 juta. Pabrik peleburan baja dan nikel menjadikan pabrik yang menghasilkan slag dengan hasil terbanyak per tahun. Adapun beberapa pabrik baja yang menghasilkan dengan rata-rata 2.2 juta ton dalam waktu satu tahun dari 44 pabrik. Sementara itu pabrik nikel menyumbang 13 juta ton slag selama setahun dari produksi 2.4 juta ton selama setahun nikel. Pabrik tembaga menyumbang slag 655,000 ton selama setahun. Pabrik aluminium menyumbangkan 3,000 ton slag selama setahun dari produksi aluminium ingot dengan 5.7 juta ton residu bauksit selama setahun dari pabrik Pt. Well winning ar.

IISIA (Indonesia Iron and Steel Industry Association) menargetkan produksi pabrik baja dalam negeri mampu produksi sampai 940,000 ton GGBFS (ground granulated blast furnace) segar pada 2019. Ada beberapa pada 2018 asosiasi mencatat terdapat selebihnya 932,000 ton ground granulated blast furnace yang terdiri dari produksi baja lokal, setiap ton pembuatan baja menghasilkan 20% slag.

Berdasarkan beberapa pengertian di atas, maka akan dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi manfaat *fly ash & slag* sebagai material pengganti semen pada beton. Untuk mendapatkan hasil dari pengaruh pemberian bahan *fly ash & slag* terhadap uji kuat tekan beton khususnya pada awal umur beton agar lebih akurat. Semua ini di barengi dengan adanya suara pelestarian lingkungan dan mencari solusi pemanfaatan dari berbagai limbah tersebut agar dapat di pakai sebagai beton ramah lingkungan.

MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

Terdapat beberapa tujuan pada penelitian “Pengaruh Penggunaan *Slag* dan *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan” yaitu :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan slag dan fly ash pada beton normal.
2. Mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* dan *slag* pada campuran beton untuk memperoleh kuat tekan yang maksimum.
3. Membandingkan hasil nilai kuat tekan antara beton normal, dan beton yang menggunakan *fly ash* dan *slag* pada umur beton 7 hari 28 hari dan 56 hari.
4. Mengetahui pengaruh terhadap kuat tekan dari penambahan fly ash 10% dan 30% pada beton .

Pembatasan Masalah

Hasil yang diperoleh dari sebuah penelitian “Karakteristik Uji Kuat beton dengan menggunakan *fly ash* dan *slag*” Pada data tersebut adapun beberapa batasan masalah yang batasi, yaitu :

1. *Mix design* dengan metode DOE untuk beton normal.
2. *Fly ash* yang di pakai 10% dari percobaan *slag* yaitu 30%
3. Benda uji untuk beton berbentuk silinder berdiameter 15 x 30 cm berjumlah 12 buah, dengan 2 buah silinder untuk setiap pengetesan.
4. Melakukan uji kuat tekan beton pada saat beton sudah berumur 7 hari, 28 hari dan 56 hari.

KAJIAN PUSTAKA PUSTAKA

Beton

Beton sebagai salah satu bahan konstruksi yang mutunya dipengaruhi oleh bahan-bahan pembuatnya seperti jenis semen, ukuran agregat, faktor air semen, waktu dan suhu perawatan serta pori-pori antar sel dan pori-pori kapilernya. Untuk mengurangi pori-pori antar sel dan pori-pori kapiler dapat dilakukan dengan penambahan bahan tambahan (*addictive*). Komposisi bahan beton tidak homogen. Untuk itu perlu modifikasi pendekatan terhadap prinsip-prinsip dasar perancangan beton. Hal ini dimungkinkan karena beton dapat dengan mudah dibentuk dengan cara menempatkan campuran yang masih basah ke dalam cetakan sampai terjadi pengerasan. Jika berbagai unsur pembentuk beton tersebut dirancang dengan baik maka hasilnya akan menjadi bahan yang kuat, tahan lama dan apabila dikombinasikan dengan baja tulangan akan menjadi elemen yang utama pada suatu sistem struktur (Nawy, 2014). Bahan-bahan pembentuk beton adalah.

1. Agregat

Dalam perencanaan beton, agregat yang digunakan harus memenuhi syarat jenis agregat dapat ditentukan berdasarkan sumbernya yakni batuan alam atau batuan pecah. Sifat yang paling penting dari agregat adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya seperti yang dimaksud pada umumnya terdiri atas agregat kasar dan agregat halus (SK-SNI-T-15-1990-03).

2. Air

Di dalam beton, air mempunyai peranan yang sangat penting dalam menentukan kekuatan dan kemudahan pelaksanaan beton, sehingga untuk mempertahankan tingkat *workability* harus dipertahankan nilai faktor air semennya. Air yang digunakan sebagai bahan campuran semen harus memenuhi standar (SK-SNI-S-04-1989-F).

2. Semen

Semen dipakai sebagai bahan ikat hidrolis untuk pembuatan beton. Semen adalah suatu hasil produksi yang dibuat di pabrik semen. Pabrik-pabrik semen memproduksi bermacam-macam jenis semen dengan sifat-sifat dan karakteristik yang berlainan. Semen Portland dibuat dari semen hidrolis yang dihasilkan secara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari

silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis ditambah dengan bahan yang mengatur waktu ikat. Klinker semen portland dibuat dari batu kapur (CaCO_3), tanah liat dan bahan dasar berkadar besi. (SNI-2049-2015). Bahan dasar dari klinker semen Portland dapat dipabrikasikan secara 2 (dua) proses yaitu basah dan kering.

3. Bahan-Bahan Tambahan

Bahan-bahan tambahan berkisar pada campuran bahan kimia sampai pada penggunaan bahan buangan yang dianggap potensial. Pada dasarnya penggunaan bahan tambahan hanya dipergunakan, apabila berdasarkan pertimbangan bahwa beton tersebut memang memerlukan bahan tambah (Murdock L.J, 1999). Bahan tambahan (*admixture*) yang sering digunakan pada di Indonesia adalah *Superplasticizer* dan *Retarder*. *Superplasticizer* dapat mengurangi kebutuhan air dalam campuran beton tanpa merubah konsistensi dan mutu yang dihasilkan, sedangkan *retarder* merupakan bahan tambahan yang digunakan dengan adanya perlambatan pada *setting time* beton dan dapat menghindari terjadinya *cold joints* pada pengecoran yang masif (Sabrina Nindya Annisa, 2017)

Bahan-bahan Pengganti Semen

Fly Ash

Saat ini penggunaan batu bara di kalangan industri semakin meningkat volumenya, karena harga yang relatif murah dibandingkan harga bahan bakar minyak untuk industri. Penggunaan batu bara sebagai sumber energy pengganti BBM, di satu sisi sangat menguntungkan, namun di sisi lain dapat menimbulkan masalah. Masalah utama dari penggunaan batu bara adalah abu batubara yang merupakan hasil sampingan pembakaran batubara. Sejumlah penggunaan batubara akan menghasilkan abu batubara sekitar 2-10 %. Pada saat ini, pengelolaan limbah abu batu bara hanya terbatas pada penimbunan di areal pabrik (*ash disposal*). Abu batubara merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf. Abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral (*mineral matter*) karena proses pembakaran. Proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan membentuk dua jenis abu, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*).

Komposisi abu batu bara terdiri dari 10-20 % abu dasar dan 80-90% berupa abu terbang. Abu terbang ditangkap dengan electric precipitator sebelum dibuang ke udara melalui cerobong. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meninjau pengaruh bahan tambah terhadap peningkatan mutu beton. (Damayanti, 2006) melakukan penelitian dengan menambahkan microsilica dan fly ash dalam campuran beton. kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari sebesar 69,736 MPa dengan perbandingan kadar microsilica 10% dan fly ash 0%, dengan menggunakan fas 0,3. (Pujiyanto, 2010) dengan menggunakan bahan tambah superplasticizer dan fly ash menghasilkan kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari sebesar 57,11 MPa dengan kadar superplasticizer yang digunakan sebesar 2% dan fly ash 12% dengan fas 0,3. (Sebayang, 2006) dengan menggunakan bahan tambah fly ash sebagai substitusi sejumlah semen tipe V, kuat tekan maksimum didapatkan pada saat beton berumur 56 hari dengan kuat tekan maksimum 55,275 MPa dengan kadar fly ash 20%. Kemudian (Sebayang, 2011) kembali meneliti penggunaan silica fume sebagai bahan tambah pada beton alir mutu tinggi. Hasil penelitiannya diperoleh kuat tekan maksimum sebesar 51,35 MPa pada umur 56 hari dengan kadar silica fume sebesar 9%. (Nugraheni, 2011) pada beton mutu tinggi dengan serat baja dan filler nanomaterial berupa pasir kuarsa menghasilkan kuat tekan maksimum pada umur 28 hari sebesar 71,06 MPa dengan kadar filler nano material 10%. Hasil penelitian tersebut menunjukkan peningkatan kuat tekan beton dengan hasil yang berbeda-beda untuk masing-masing penelitian. Pada beton mutu

tinggi dengan *silica fume* dan *filler* pasir kwarsa” mendapatkan bahwa penggunaan *fly ash* 5%, *silicafume* 10% dan *superplasticizer* 2% dari berat semen pada beton mutu tinggi memberikan hasil yang maksimum pada 75,06 Mpa. Sifat-sifat abu terbang yaitu

1. Sifat Fisik

Menurut ACI Committee 226, dijelaskan bahwa abu terbang (*fly ash*) mempunyai butiran yang halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili micron) 5-27 %. *Fly Ash* umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Abu terbang memilikidensitas 2,23 gr/cm³, dengan kadar air sekitar 4%. *Fly ash* memiliki *specific gravity* antara 2,15-2,6 dan berwarna abu-abu kehitaman. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. *Fly ash* memiliki luas area spesifiknya 170-1000 m²/kg. Ukuran partikel rata-rata abu terbang batu bara jenis sub bituminous 0,01 mm– 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m²/g, bentuk partikel mostly spherical, yaitu sebagian besar berbentuk bola, sehingga menghasilkan kelecakan yang lebih baik (Nugroho p, 2007).

2. Sifat Kimiawi

Sifat kimia dari *fly ash* dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar, tekni penyimpanan, dan penanganannya. Pembakaran batu bara lignit dan sub-bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada jenis bituminous. Komponen utama *fly ash* batu bara adalah *silica* (SiO₂), *alumina* (Al₂O₃), besi oksida (Fe₂O₃), kalsium (CaO), magnesium, potassium, sodium, titanium, dan belerang dalam jumlah yang sedikit.

Abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, oksida silika yang dikandung di dalam *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan abu batubara dapat digunakan pada beton sebagai material terpisah atau sebagai bahan dalam campuran semen dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat beton. Fungsi abu batubara sebagai bahan aditif dalam beton bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah internal kohesi dan mengurangi porositas daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton menjadi lebih kuat. Pada umur sampai dengan 7 hari, perubahan fisik abu batubara akan memberikan kontribusi terhadap perubahan kekuatan yang terjadi pada beton, sedangkan pada umur 7 sampai dengan 28 hari, penambahan kekuatan beton merupakan akibat dari kombinasi antara hidrasi semen dan reaksi pozzolan.

Jenis-Jenis *Fly Ash* :

Berdasarkan *ACI Manual of concrete Practice* 1993 Part I 226.3R-3), *Fly Ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis:

1. Kelas C
2. Kelas F
3. Kelas N

Slag

Slag merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi, yang dihasilkan oleh industri peleburan baja salah satunya berupa limbah slag yang secara fisik menyerupai agregat kasar. Seiring dengan semangat pelestarian lingkungan, maka perusahaan penghasil limbah slag mencari solusi pemanfaatan limbah slag tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya limbah slag dapat dimanfaatkan sebagai agregat kasar dan agregat halus dalam bahan konstruksi dan campuran perkerasan aspal.

Karakteristik dari limbah padat (*slag*) yaitu :

1. Karakteristik Fisik

Limbah padat (*slag*) mempunyai butiran partikel berpori pada permukaannya. Limbah padat (*slag*) merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda. Ukuran gradasi limbah padat (*slag*) lebih mendekati ukuran agregat kasar 2/3.

2. Karakteristik Kimia

Komposisi kimia limbah padat (*slag*) pada PT. Inti General Yaja Steel, Semarang dari hasil analisis pengujian Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan Semarang, dapat disesuaikan pada tabel 2.7

Metode uji mengacu pada :

- *standar methods for the Examination of water and waste, APHA,AWWA,WEF*

Tabel 2.6 *standar methods for the Examination of water and waste, APHA,AWWA,WEF*

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Metode Uji
I	LOGAM BERAT			
1	Arsen (As)	mg/kg	< 0.1.88	destruksi SM .3114 B
2	Barium (Ba)	mg/kg	< 3.931	destruksi SM.3111 D
3	Boron (B)	mg/kg	< 1.965	destruksi SM.4500-BC
4	Cadmium (Cd)	mg/kg	< 0.118	destruksi SM.3111 B
5	Chromium (Cr)	mg/kg	49.25	destruksi SM.3111 B
6	Copper (Cu)	mg/kg	48.42	destruksi SM.3111 B
7	Lead (Pb)	mg/kg	<1.179	destruksi SM.3111 B
8	Mercury (Hg)	mg/kg	< 0.393	destruksi SM.3112 B
9	Selenium (Se)	Mg/kg	<0.118	destruksi SM.3114 B
10	Silver (Ag)	mg/kg	<1.179	destruksi SM.3111 B
11	Zine (Zn)	mg/kg	28.62	destruksi SM.3111 B

(sumber : TA Vena-Zuni : 2006)

Dari komposisi kimia limbah padat (*slag*) diatas, sangat jelas bahwa limbah padat (*slag*) termasuk dalam limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya).

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mendapatkan informasi yang diperlukan dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data yaitu :

1. Penelitian kepustakaan

Penelitian kepustakaan adalah penelitian untuk mendapatkan data sekunder, yaitu dengan membaca literatur-literatur, buku-buku, majalah dan sumber-sumber lainnya yang berkaitan dengan penelitian.

2. Penelitian laboratorium:

Penelitian untuk mendapatkan data primer dimana dilakukan secara langsung di pengujian di laboratorium yaitu:

a) Uji bahan material dasar campuran beton

Uji bahan material dasar campur beton dilakukan terhadap air, pasir, sirtu dan semen yang akan

b) Pembuatan Kubus Beton Sampel

Pembuatan sampel silnder beton berdiameter 15 dan tinggi 30 cm. Bahan campuran beton yang terdiri dari air, pasir, sirtu dan semen. Proses pembuatan campuran beton yang dibuat mengikuti aturan yaitu:

1. Variasi waktu pengerasan beton yang direndam di air selama 14, 28 dan 56 hari

2. *Fly ash* yang di pakai 10% dari percobaan *slag* yaitu 30%
 3. Mutu beton yang akan diuji dengan nilai FC 45.
- c) Uji slump beton
 Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui kekentalan campuran beton. Nilai kekentalan campuran beton berguna untuk melihat kemudahan dalam pengerjaan campuran beton (SNI-03-1972-2008).
- d) Uji kuat tekan terhadap kubus beton (dengan air kelapa dan tanpa air kelapa) untuk umur 1, 7, 14, 21, 28, dan 35 hari.

DATA-DATA PENGUJIAN

Pengujian Agregat Halus

B. RESUME HASIL PENGUJIAN MATERIAL AGREGAT HALUS

Jenis Pengujian	Standar Referensi Pengujian		Hasil Uji	Syarat Batas	Status
	Metoda Pengujian	Syarat Keberterimaan			
Kadar Organik	ASTM C 40, SNI 2816:2014	ASTM C 40, SNI 2816:2014, Quality Plan	No.3	Max. No. 3	Memenuhi
Analisa Saringan	ASTM C 136, SNI 1968:2010	ASTM C 33, Quality Plan	2,62	FM = 2.30 s/d 3.10	Memenuhi
			In Of Limits	Grafik = In of Limits	
Berat Jenis SSD	ASTM C 128, SNI 1970:2008	Quality Plan	2,64	Min. 2.4	Memenuhi
Penyerapan	ASTM C 128, SNI 1970:2008	Quality Plan	0,60%	Max. 4%	Memenuhi
Berat Volume	ASTM C 29, SNI 03 - 4804 - 1998	Quality Plan	1430,17	Min. 1200 kg/m ³	Memenuhi
Kadar Air	ASTM C 566, SNI 1971:2011	-	1,50%	Tidak bersyarat	-
Kadar Lumpur Kering - Setelah dicuci	ASTM C 117, SNI 03 - 4142-1996	ASTM C 33, SNI 8321:2016, Quality Plan	1,14%	3% (Beton terabrasi)	Memenuhi
			-	5% (Beton tdk terabrasi)	-
Clay Lumps	ASTM C 142, SNI 4141:2015	ASTM C 33, Quality Plan	2,40%	Max. 3%	Memenuhi
Soundness	ASTM C 88, SNI 3407:2008	ASTM C 33, Quality Plan	-	Na ₂ SO ₄ Max. 10%	-
			1,41%	MgSO ₄ Max. 15%	Memenuhi
Void Agregat	ASTM C 29/C 29M, SNI 1973:2008	-	41,90%	Tidak bersyarat	-

Sumber : Hasil Praktikum di Laboratorium
Pengujian Material Agregat Kasar

B. RESUME HASIL PENGUJIAN MATERIAL AGREGAT KASAR

Jenis Pengujian	Standar Referensi Pengujian		Hasil Uji	Syarat Batas	Status
	Metoda Pengujian	Syarat Keberterimaan			
Analisa Saringan					
- Agregat Kasar 20-37	ASTM C 136, SNI 1968:2010	ASTM C 33, Quality Plan	-	FM = 8.25 s/d 8.90	-
			-	Grafik = In of Limits	
- Agregat Kasar 5-25	ASTM C 136, SNI 1968:2010	ASTM C 33, Quality Plan	-	FM = 6.25 s/d 6.80	-
			-	Grafik = In of Limits	
- Agregat Kasar 5-20	ASTM C 136, SNI 1968:2010	ASTM C 33, Quality Plan	-	FM = 6.30 s/d 6.90	-
			-	Grafik = In of Limits	
- Agregat Kasar 10-20	ASTM C 136, SNI 1968:2010	ASTM C 33, Quality Plan	-	FM = 7.25 s/d 7.90	-
			-	Grafik = In of Limits	
- Agregat Kasar 10-25	ASTM C 136, SNI 1968:2010	ASTM C 33, Quality Plan	8,35	FM = 7.60 s/d 8.60	Memenuhi
			In of Limits	Grafik = In of Limits	
- Agregat Kasar 5-10	ASTM C 136, SNI 1968:2010	ASTM C 33, Quality Plan	-	FM = 6.10 s/d 6.70	-
			-	Grafik = In of Limits	
Berat Jenis SSD	ASTM C 127, SNI 1969:2008	Quality Plan	2,63	Min. 2.4	Memenuhi
Penyerapan	ASTM C 127, SNI 1969:2008	Quality Plan	1,41%	Max. 4%	Memenuhi
Berat Volume	ASTM C 29, SNI 03 - 4804 - 1998	Quality Plan	1331,07	Min. 1200 kg/m ³	Memenuhi
Kadar Air	ASTM C 566, SNI 1971:2011	-	1,88%	Tidak bersyarat	-
Kadar Lumpur Kering - Setelah dicuci	ASTM C 117, SNI 03 - 4142:1996	ASTM C 33, SNI 8321:2016, Quality Plan	0,21%	Max. 1%	Memenuhi
			-		-
Abrasi	ASTM C 131, SNI 2417:2008	ASTM C 33, Quality Plan	23,13%	Max. 40%	Memenuhi
Flakiness	BS 812:105.1	Quality Plan	20,71%	Max. 25%	Memenuhi
Clay Lumps	ASTM C 142, SNI 4141:2015	ASTM C 33, Quality Plan	0,08%	Max. 2%	Memenuhi
Soundness	ASTM C 88, SNI 3407:2008	ASTM C 33, Quality Plan	-	Na ₂ SO ₄ Max. 12%	-
			0,09%	MgSO ₄ Max. 18%	Memenuhi
Angularity	IS:2386-PART 1-1963	-	13,57	Tidak bersyarat	-
Void Agregat	ASTM C 29/C 29M, SNI 1973:2008	-	47,88%	Tidak bersyarat	-
<p>Deskripsi Treatment (Jika dilakukan):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dilakukan Pencucian dengan menyiram stock pile - Penyiraman menggunakan water springkler selama 1 jam 					

Sumber : Hasil Praktikum di Laboratorium

Komposisi Campuran Beton Untuk 1 m³

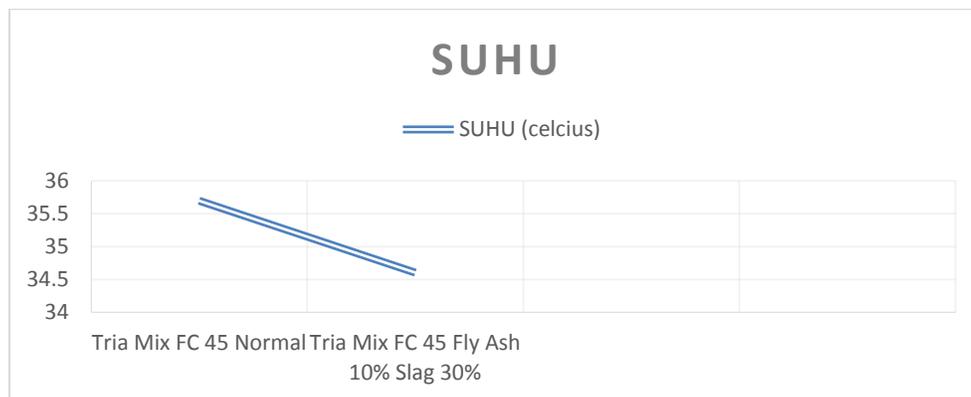
NO	MUTU / SLUMP	KOMPOSISI MATERIAL					
	FC 45 / 12 ± 2	SEMEN	FLY ASH	SLAG	SPLIT 10/20	PASIR I	AIR
		KG	KG	KG	KG	KG	LT
1	Normal	565	0	0	1090	520	183
2	Fly Ash 10% Slag 30%	365.0	56.5	169.5	1090	520	183

Sumber : Hasil Praktikum di Laboratorium

Hasil Pengujian Suhu

KODE BENDA UJI	SUHU (celcius)
Tria Mix FC 45 Normal	35.7
Tria Mix FC 45 Fly Ash 10% Slag 30%	34.6

Sumber : Hasil Praktikum di Laboratorium



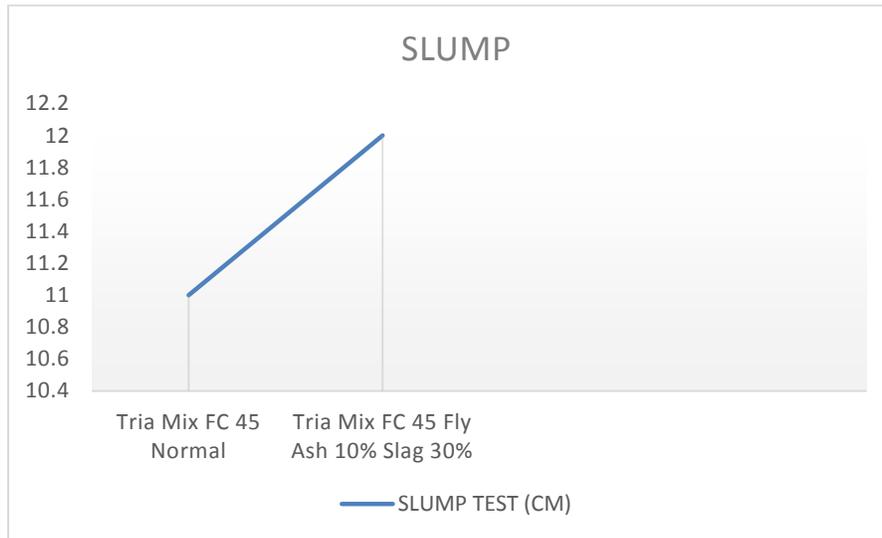
Sumber : Hasil Praktikum di Laboratorium

Gambar 1 Grafik suhu beton antara normal dan beton campuran

Hasil uji slump beton

Tabel 4.5 nilai slump di fc 45 normal dan campuran

KODE BENDA UJI	SLUMP TEST (CM)
Tria Mix FC 45 Normal	11
Tria Mix FC 45 Fly Ash 10% Slag 30%	12



Sumber : Hasil Praktikum di Laboratorium

Gambar 2 Grafik slump

Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Tabel Hasil Uji Kuat Tekan Umur 7 Hari

Jenis Beton	Ukuran Selinder (cm)	Mutu	Umur Test Sample	Berat (kg)	Berat rata-rata	Hasil Pengujian				Keterangan
						Beban(kN)	Beban Rata-Rata	linder f'c (Mpa)	Kubus K (kg/cm ²)	
Normal (1)	15 x 30	K 250	7 Hari	12.18		450				
Normal (2)	15 x 30	K 250	7 Hari	12.30	12,24	490	470	26,6	327	131%
AKT+FA10%+S10% (1)	15 x 30	K 250	7 Hari	12.12		390				
AKT+FA10%+S10% (2)	15 x 30	K 250	7 Hari	12.20	12,16	330	360	20,37	250,36	100%
AKM+FA10%+S10% (1)	15 x 30	K 250	7 Hari	12.34		400				
AKM+FA10%+S10% (2)	15 x 30	K 250	7 Hari	12.34	12,34	410	405	22,92	281	113%

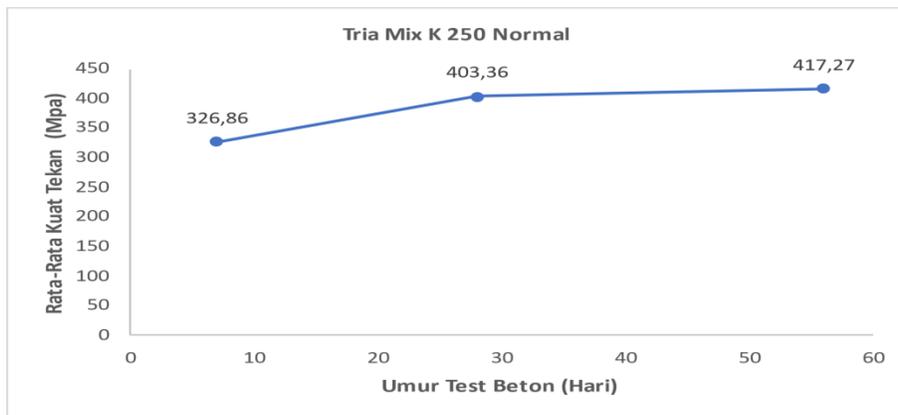
Tabel Hasil Uji Kuat Tekan Umur 28 Hari

Jenis Beton	Ukuran Selinder (cm)	Mutu	Umur Test Sample	Berat (kg)	Berat rata-rata	Hasil Pengujian				Keterangan
						Beban(kN)	Beban Rata-Rata	linder f'c (Mpa)	Kubus K (kg/cm ²)	
Normal (1)	15 x 30	K 250	28 Hari	12.21		590				
Normal (2)	15 x 30	K 250	28 Hari	12.72	12,465	570	580	32,82	403,36	161%
AKT+FA10%+S10% (1)	15 x 30	K 250	28 Hari	12.05		490				
AKT+FA10%+S10% (2)	15 x 30	K 250	28 Hari	12.07	12,06	520	505	28,58	351,2	140%
AKM+FA10%+S10% (1)	15 x 30	K 250	28 Hari	12.20		600				
AKM+FA10%+S10% (2)	15 x 30	K 250	28 Hari	12.40	12,4	620	610	34,52	424,22	170%

Tabel Hasil Uji Kuat Tekan Umur 56 Hari

Jenis Beton	Ukuran Selinder (cm)	Mutu	Umur Test Sample	Berat (kg)	Berat rata-rata	Hasil Pengujian				Keterangan
						Beban(kN)	Beban Rata-Rata	linder f'c (Mpa)	Kubus K (kg/cm ²)	
Normal (1)	15 x 30	K 250	56 Hari	12.41		600				
Normal (2)	15 x 30	K 250	56 Hari	12.50	12,455	600	600	33,95	417,27	167%
AKT+FA10%+S10% (1)	15 x 30	K 250	56 Hari	12.16		560				
AKT+FA10%+S10% (2)	15 x 30	K 250	56 Hari	12.28	12,3	550	555	31,41	385,97	154%
AKM+FA10%+S10% (1)	15 x 30	K 250	56 Hari	12.21		660				
AKM+FA10%+S10% (2)	15 x 30	K 250	56 Hari	12.53	12,37	640	650	37,35	458,99	184%

Sumber : Hasil Praktikum di Laboratorium



Gambar 3 Grafik kuat tekan beton normal umur

Sumber : Hasil Praktikum di Laboratorium

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil Pengujian Suhu Beton

Suhu menunjukkan bahwa perbedaan suhu antara beton normal dan beton campuran memiliki perbedaan dapat di lihat suhu beton normal memiliki hasil 35,7°C dan beton campuran memiliki hasil 34,6°C maka dapat di simpulkan penambahan fly ash dan slag dapat mempengaruhi suhu beton dengan menurunnya suhu pada beton segar.

Analisis Hasil Pengujian Beton Segar Dengan Slump Test

Pada gambar di atas slump beton normal memiliki nilai di angka 11cm dan beton campuran memiliki 12cm dengan perbandingan ini maka slump beton juga berpengaruh saat adanya penambahan bahan slag dan fly ash.

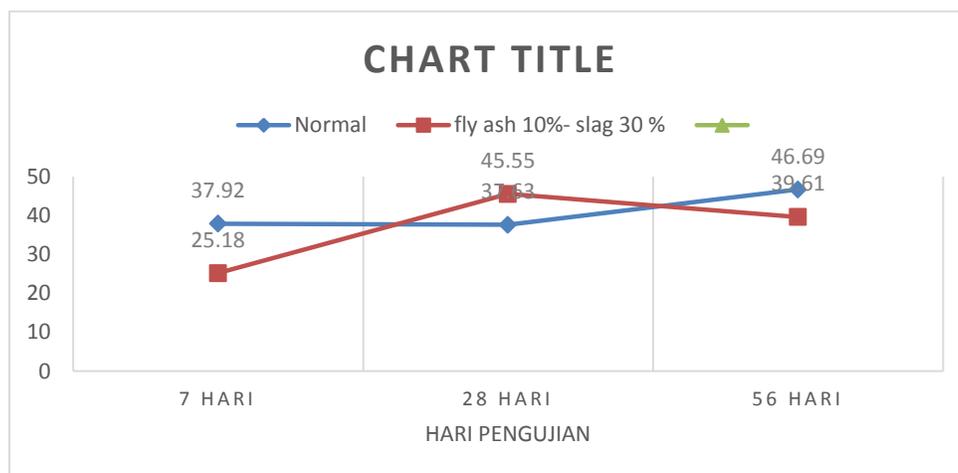
Analisa Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dengan Crushing Test

Dalam perbandingan ini kita dapat melihat dan dapat di simpukan dengan adanya grafik dapat mempermudah pembacaan perbandingan dengan baik. Beton normal memiliki uji kuat tekan beton pada 7 hari 37,92 ketik 28 hari memiliki penurunan yaitu memiliki angka di 37,63 dan di hari 56 hari memiliki peningkatan dengan hasil 46,9. Sedangkan beton campuran di hari 7 memiliki kuat tekan beton 25,18 dan di hari ke 8 memiliki peningkatan 45,55 dan pada saat hari ke 56 hsil menunjukkan penurunan 39,61.

Tabel 4.9. perbandingan antara beton normal dan beton campuran

Jenis Beton	7 Hari	28 Hari	56 Hari
Normal	37.92 Mpa	37.63 Mpa	46.69 Mpa
fly ash 10%- slag 30 %	25.18 Mpa	45.55 Mpa	39.61 Mpa

Sumber : Hasil Praktikum di Laboratorium



Sumber : Hasil Praktikum di Laboratorium

Gambar 4.5. perbandingan antara beton normal dan beton campuran

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan data, penulis memperoleh kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian mengenai Karakteristik Beton Mutu Tinggi Dengan Menggunakan Limbah Peleburan Nikel Dan Pembakaran Batu Bara sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa tidak mempengaruhi nilai slump pada campuran beton. semakin banyak Fly Ash dan Slag yang digunakan sebagai bahan tambah massa jenis beton akan semakin menurun.
2. Secara umum dibandingkan dengan beton normal, *fly ash 10%* , dan *slag 30%* pada beton berpengaruh kepada penurunan kuat tekan beton dari Beton Normal
3. Beton normal di umur 7 hari memiliki uji kuat 37,92 Mpa, 28 hari 37,63 Mpa, 56 hari 36,69. Dan beton campuran memiliki kuat di hari ke 7 adalah 25,18 Mpa, 28 hari 45,55 Mpa dan di 56 hari 39,61 menjadikan hasil ini semakin banyak fly ash dan slag mengurangi kuat beton pada umur 56 dan beton normal memiliki penurunan di umur 28 tetapi naik dengan signifikan pada saat umur beton 56 hari
4. Hasil uji sample beton normal yang telah di uji sudah sesuai dengan kekuatan yang direncanakan meskipun beton yang dicampur fly ash dan slag masih dibawah Kuat Tekan Beton Normal.

1.1. SARAN

1. Diperlukan penelitian kembali untuk memaksimalkan beton mutu tinggi dengan penambahan screening.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut pada beton yang menggunakan *fly ash* dan *slag* dengan variasi yang lebih banyak untuk mendapatkan kuat tekan yang sesuai dengan target penelitian sebab kita bisa memanfaatkan limbah untuk beton dan beton yang menggunakan *fly ash* dan *slag* termasuk beton yang ramah lingkungan.
3. Penelitian ini harus tetap berlanjut karena beton yang akan di hasil kan memperkecil atau mengurangi jumlah limbah dan yang pasti menjadi beton ramah lingkungan.
4. Di perlukan pengujian beton di atas umur 56 hari
5. Menambah benda uji minimal 4 benda uji untuk menghasilkan penelitian yang lebih maksimal

DAFTAR PUSTAKA

<http://eprints.polsri.ac.id/1220/3/M.Ali%20Indra%20Hafiz%20dan%20Septiawan%20-Bab%202-word.pdf>

Ali Achmadi, 2009, Kajian Beton Mutu Tinggi Menggunakan Slag Sebagai Agregat Halus Dan Agregat Kasar Dengan Aplikasi Superplasticizer Dan Silicafume

Badan Standarisasi Nasional, SNI 1972:2008 : *Cara Uji Slump Beton*, Jakarta, 2008.

Paulus Civil Engineering Journal Volume 2 No.1. Maret 2020 Karakteristik Beton Mutu Tinggi dengan Substitusi Slag Baja dan Slag Nikel Sebagai Agregat Kasar

http://etheses.uin-malang.ac.id/1788/8/09410057_Bab_5.pdf

<https://media.neliti.com/media/publications/297664-nilai-kuat-tekan-beton-pada-slump-beton-9c82a39b.pdf>

Mulyono, Tri 2004. Teknologi Beton. Yogyakarta : Penerbit ANDI

Nugraha, Paul dan Antoni 2007. Teknologi Beton. Suraya : Penerbit ANDI

<https://text-id.123dok.com/document/4yrwd5vzo-pengukuran-suhu-pada-beton-segar.html>

<https://123dok.com/document/4yr31moy-pemanfaatan-terak-baja-agregat-halus-pemb>

<https://idoc.pub/documents/sni-beton-03-2847-2002-dilengkapi-dengan-penjelasanpdf>
https://www.academia.edu/39631999/LAPORAN_KERJA_PRAKTEK_PT_GRESIK_PERSER
[O](#)
<https://www.coursehero.com/file/p5i1ang9/Senyawa-C-S-dan-C-S-memiliki-sifat-mengi>
<https://pt.scribd.com/doc/173829556/Bahan-Ajar-teknologi-Beton>
<https://www.scribd.com/document/368671186/BAB-II>
https://asistensiteknologibeton.blogspot.com/2014/12/agregat.html?_escaped_fragment
<https://www.scribd.com/document/238193424/Pengaruh-Penambahan-Fly-Ash-Terhada>
<https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/23184/05.4> bab
<4.pdf?sequhttps://123dok.com/document/zw1x7wvq-penambahan-fly-ash-sebagai-bahan-campur>
https://www.researchgate.net/publication/328194305_Analisa_Agregat_Halus_Pasir_Zonhttps://
<ojs.ummetro.ac.id/index.php/tapak/article/download/1035/719>
http://repository.unisba.ac.id/bitstream/handle/123456789/5295/07Bab3_Nursyamsu_10
<https://www.slideshare.net/ardinasir/cara-uji-slump-beton>
<https://https://www.grafiati.com/pt/literature-selections/prepjaty-beton/report/jurnal.tekmira.esdm.go.id/index.php/minerba/article/download/804/646>
<https://idoc.pub/documents/1276pengendalian-mutu-beton-sesuai-sni-aci-dan-astmpd>
<https://www.dental-travel.com.pl/kilang+jalan+untuk+pasir+silika/4028.html>
<https://jap-joniagungpriyanto.blogspot.com/2011/02/bahan-lapis-keras.html>