

OPTIMALISASI BIAYA PRODUKSI PAVING STONE MUTU A K-350 DENGAN MENGGUNAKAN FLY ASH SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN

OPTIMALISATION COST OF PRODUCTION IN PAVING STONE GRADE A K-350 USING FLY ASH AS SUBSTITUTION MATERIAL FOR CEMENT

Wahyu Jayapuspita

Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: wahyujayapuspita@mhs.unesa.ac.id

Mas Suryanto H.S., S.T., M.T.

Dosen Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: massuryantohs@unesa.ac.id

Abstrak

Program Pemerintah pembangunan sarana transportasi yaitu pavingisasi yang saat ini sedang berjalan sampai ke plosok desa. Pabrikasi perlu melakukan efisiensi dan inovasi terkait bahan material yang digunakan untuk menekan biaya produksi agar harga paving stone dapat bersaing dipasaran. Pada saat ini fly ash telah banyak diproduksi dalam kemasan yang lebih efisien dan mudah didapatkan. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan biaya produksi yang optimal dari komposisi optimal paving stone K-350 dengan menggunakan fly ash sebagai bahan substitusi semen yang kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air yang disyaratkan pada SNI 03-0691-1996. Hasil penelitian ini dilakukan pada enam komposisi dengan mensubstitusikan semen dengan fly ash pada prosentase 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% dari berat semen dengan melalui tahapan pengujian material penyusun, mix design, pengujian paving stone pada umur 28 hari dan perhitungan biaya produksi. Analisis biaya produksi paling optimal dilakukan dengan menghitung biaya terendah dengan komposisi substitusi terbesar yang memenuhi SNI 03-0691-1996 paving stone Mutu A. Komposisi substitusi semen dengan fly ash yang paling optimal pada komposisi substitusi 25% memiliki kuat tekan sebesar 367,76 kg/cm², ketahanan aus sebesar 0,080 mm/menit, dan penyerapan air sebesar 2,15% termasuk dalam klasifikasi paving stone mutu A yang digunakan untuk jalan dengan biaya produksi sebesar Rp. 51.574,02 per m² (43 biji).

Kata Kunci: paving stone mutu A, fly ash, dan biaya produksi.

Abstract

The Program Of Government on developing transportation facilities using Paving Stone as materials has been spreading throughout villages. The PabRICT need to be more efficiency and more innovative regarding the using of materials in order to descending the production cost so it can be competitive in the market. Nowadays, fly ash has been producing in many packaging so it can be more efficiently and easy to get the product. The Purpose of this research is to gain optimum cost of production paving stone K-350 by using fly ash as substitute material for cement and to determine the optimum composition of fly ash as substitution material. The indicator of this research goals is the quality paving stone (grade A) which will showing in Compressive Strength, Abrasion Strength, Water Absorption on 28 days as listed in SNI 03-0691-1996. This research used 6 (six) compositiion of fly ash at percentage 0%, 20%, 25%, 30%, 35% and 40% from cement weight by passing the testing phase of constituent material, mix design, paving stone testing at 28 days and calculation of production cost. The most optimal production cost analysis is done by calculating the lowest cost with the largest substitution composition as listed in SNI 03-0691-1996 paving stone Mutu A. As result of this research determined that 25% fly ash as substitute material is the most optimum composition. The composition of 25% fly ash, showed the compressive strength at 367,76 Kg/ cm² ; abrasion strength at 0,080 mm/ minute ; water absorption at 2,15% which means that production composition qualify for paving stone grade A. Besides that the composition of 25% fly ash as substitute material determine the production cost IDR 51.574,02 per square meters (43 pcs) which means it still can be competitive in the market.

Keywords: paving stone grade A, fly ash, and cost of production

PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya permintaan material paving stone guna mendukung program pemerintah yaitu Pavingisasi permukiman masyarakat sampai ke plosok desa diperlukan suatu upaya bagi pabrikasi untuk meningkatkan kualitas paving stone. Selain mutu dari paving stone, maka perlu adanya solusi agar harga jual yang dapat bersaing dan terjangkau di masyarakat,

hal ini dapat dilakukan dengan penggunaan pengganti (substitusi) material utama yang dapat meningkatkan kualitas paving stone yang saat ini sudah banyak tersedia dipasaran dengan kemasan yang lebih ekonomis. Penggunaan bahan substitusi pada komposisi campuran paving stone selain dapat meningkatkan mutu juga dapat menghemat penggunaan material utama penyusun seperti semen.

Pemanfaatan sumberdaya lokal yaitu limbah sisa pembakaran batu bara (*fly ash*) yang berasal dari sisa pembakaran batu bara dan merupakan limbah industri yang dapat mencemari lingkungan ternyata menurut penelitian terdahulu dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian dari fungsi semen. Kandungan kimia *fly ash* yang mirip dengan kandungan kimia yang terdapat pada semen mendasari hal tersebut. Harga *fly ash* yang lebih murah diharapkan dapat menekan biaya produksi sehingga didapat harga jual paving stone yang lebih terjangkau dan dapat bersaing dipasaran. Melihat uraian diatas peneliti mencoba melakukan penelitian sebagai solusi pemanfaat *fly ash* sebagai bahan substitusi semen untuk memproduksi *paving stone* sehingga dapat menekan biaya produksi.

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substitusi semen menggunakan *fly ash* terhadap kuat tekan *paving stone* K-350?
2. Bagaimana pengaruh substitusi semen menggunakan *fly ash* terhadap ketahanan aus *paving stone* K-350?
3. Bagaimana pengaruh substitusi semen menggunakan *fly ash* terhadap resapan *paving stone* K-350?
4. Berapa komposisi optimum substitusi semen menggunakan *fly ash paving stone* K-350?
5. Bagaimana pengaruh substitusi semen menggunakan *fly ash* terhadap biaya produksi *paving stone* K-350?
6. Komposisi manakah yang paling optimum terhadap biaya produksi *paving stone* K-350 dengan substitusi semen menggunakan *fly ash*?

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh substitusi semen menggunakan *fly ash* terhadap kuat tekan *paving stone* K-350.
2. Mengetahui pengaruh substitusi semen menggunakan *fly ash* terhadap keausan *paving stone* K-350.
3. Mengetahui pengaruh substitusi semen menggunakan *fly ash* terhadap resapan *paving stone* K-350.
4. Mengetahui komposisi optimum substitusi semen menggunakan *fly ash paving stone* K-350
5. Mengetahui pengaruh substitusi semen menggunakan *fly ash* terhadap biaya produksi *paving stone* K-350.
6. Mengetahui komposisi paling optimum terhadap biaya produksi *paving stone* K-350 dengan substitusi semen menggunakan *fly ash*.

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat Peneliti
 - a. Mendapatkan campuran *paving stone* K-350 yang paling optimal dengan biaya yang kompetitif.
2. Manfaat Akademisi
 - a. Memberikan informasi dalam hal ilmu bahan bangunan.
 - b. Memberikan informasi komposisi *fly ash* sebagai bahan substitusi semen sebagai alternatif bahan bangunan.
 - c. Sebagai pembanding apabila ada penelitian sejenis sebagai penelitian pengembangan.
3. Manfaat Praktisi/ Masyarakat
 - a. Menghasilkan *paving stone* mutu A dengan biaya produksi yang lebih murah diharapkan dapat meningkatkan omzet penjualan.
 - b. Menghasilkan *paving stone* mutu A dengan biaya produksi yang lebih murah diharapkan dapat meningkatkan margin profit.
 - c. Menghasilkan *paving stone* mutu A dengan *mix design* menggunakan *fly ash* sebagai bahan substitusi semen merupakan alternatif yang terus dapat dicoba dan dikembangkan sesuai dengan kebutuhan dunia industri.
 - d. Bagi masyarakat dapat memperoleh *paving stone* mutu A dengan harga lebih terjangkau.

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan dalam penelitian adalah material yang diperoleh dari Pabrik Purnama Beton Gempol.
2. Benda uji dibuat pada cetakan paving persegi panjang dengan ukuran 21x10,5x6 cm.
3. Standar mutu *paving stone* disesuaikan dengan mutu paving dari SNI 03-0691-1996 untuk *paving stone* tipe A (K-350), dengan parameter kuat tekan, uji aus, dan uji resapan pada umur 28 hari.
4. Prosentase penggunaan *fly ash* sebagai bahan substitusi semen sebesar 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40%.
5. Jumlah benda uji yang dibuat sebagai sampel pada setiap campuran adalah 10 buah untuk uji tekan, 3 buah untuk uji aus, dan 3 buah untuk uji resapan.
6. Metode *curing* yang dipakai dengan melakukan pembungkusan benda uji dengan menggunakan plastik pada tumpukan *paving stone* di *stock yard*.

TINJAUAN PUSTAKA

Bahan dasar yang digunakan untuk membuat paving stone adalah semen, pasir, batu pecah, dan air sebagai pengikat agar campuran dapat menjadi homogen.

Paving Stone

Bata beton (*paving stone*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1989). *Paving stone* memiliki klasifikasi sesuai dengan kegunaannya, adapun klasifikasi paving menurut SNI 03-0691-1989 ialah:

1. Bata beton mutu A :Digunakan untuk jalan
2. Bata beton mutu B :Digunakan untuk peralatan Parkir
3. Bata beton mutu C :Digunakan untuk pejalan kaki
4. Bata beton mutu D :Digunakan untuk taman

Ketahanan fisik *paving stone* diatur dalam SNI 03-0691-1989 sebagai berikut:

Tabel 1. Kekuatan Fisik *Paving Stone*

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus (mm/mnt)		Penyerapan Air Rata-rata Maks (%)
	Rata-Rata	Minimal	Rata-rata	Minimal	
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

(Sumber : SNI 03-0691-1989)

Semen

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan konstruksi bangunan, terutama pekerjaan beton. Menurut *American Standart for Testing Material (ASTM) C-150-1985*, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Terdapat 5 (lima) tipe semen ialah tipe I, tipe II, tipe III, tipe IV, tipe V. Dalam penelitian ini semen yang digunakan yang umum digunakan ialah semen tipe I yaitu semen portland yang digunakan untuk semua bangunan beton yang tidak mengalami perubahan cuaca yang dasyat atau dibangun dalam lingkungan yang sangat korosif.

Pasir/ Agregat Halus

Pasir merupakan (*fine aggregate*). Berdasarkan SNI 03-6820-2002, pasir adalah agregat sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu dan mempunyai butiran atau

ukuran 4,76 mm. Dalam penelitian ini pasir yang digunakan pasir Lumajang.

Batu Pecah/ Agregat Kasar

Batu pecah adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran 5-40mm. Batu pecah adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari saringan no. 88 (2,36 mm). Batu pecah dalam paving blok dapat memberikan kekuatan optimum dalam keadaan bersih (tidak mengandung bahan-bahan merugikan seperti lumpur, tanah liat, dan bahan organik). Batu pecah yang dipakai untuk campuran beton harus memenuhi persyaratan menurut SII.0052 ialah:

1. Modulus halus butir 6,0-7,1
2. Kadar lumpur maksimum 1%
3. Abrasi atau bagian yang lemah maksimum 5%

Air

Air diperlukan untuk proses pembuatan beton guna memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Perbandingan jumlah air dengan semen yang disebut dengan faktor air semen (FAS) sangat penting untuk diperhatikan. Air yang digunakan dalam campuran beton adalah air yang tidak mengandung senyawa berbahaya bagi beton, garam, minyak, gula, dan bahan kimia lainnya.

Fly Ash

Fly ash adalah hasil dari proses pembakaran batu bara, berupa butiran halus, ringan, bundar, tidak porous, dan bersifat *pozolonik*. *Fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silica (SiO_2), alumunia (Al_2O_3), fero oksida, (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO) dan juga mengandung unsure tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TIO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan carbon. Namun jika penggunaan *fly ash* berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. ASTM C618 mendefinisikan 3 kelas dari *fly ash* untuk digunakan pada beton yaitu:

1. Kelas F berasal dari pembakaran batu bara antrasit atau bitumen yang mana memiliki sifat pozzolan dengan sifat rekatan yang sedikit (dengan struktur kimia $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 70\%$)
2. Kelas C berasal dari pembakaran batu bara lignit yang mana memiliki sifat lekatan serta sifat pozzolan (dengan struktur kimia $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 50\%$)
3. Kelas N berasal dari hasil pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran pozzolan alam. Antara lain, tanah diatomik, abu vulkanik, *opalie chertz*,

dan *tuff*. Selain itu juga mempunyai pozzolan yang baik.

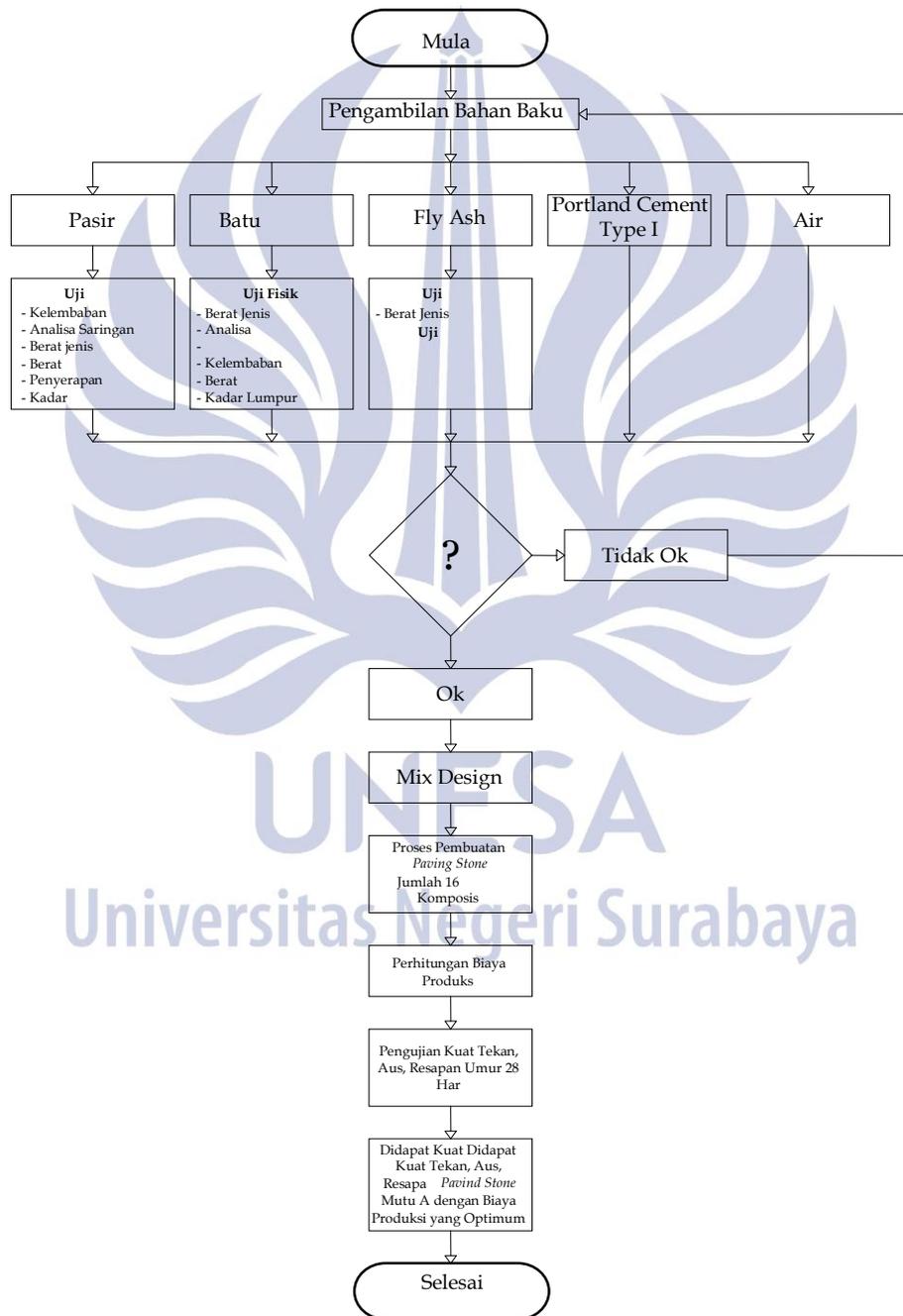
1. Biaya bahan baku (*direct material cost*).
2. Biaya tenaga kerja langsung (*direct labour cost*).
3. Biaya *overhead* pabrik (*factory overhead cost*).

Biaya Produksi

Biaya produksi yakni biaya-biaya yang berhubungan langsung dengan produksi dari suatu produk. Biaya produksi membentuk harga pokok produksi yang digunakan untuk menghitung harga pokok produk jadi. Biaya produksi digolongkan dalam tiga jenis yang juga merupakan elemen-elemen utama dari biaya produksi, meliputi:

METODE

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian mulai dari pengujian material penyusun, pembuatan komposisi campuran (*mix design*) *paving stone*, pembuatan *paving stone*, pengujian *paving stone*, dan perhitungan biaya produksi. Berikut diagram alur penelitian.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Pengujian Material Penyusun

Pengujian material penyusun *paving stone* dilakukan dengan menggunakan alat uji yang ada di Laboratorium Uji Bahan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya dan Laboratorium Kimia Universitas Negeri Malang, meliputi:

1. Pasir/ Agregat Halus, Kelembaban, analisa saringan, berat jenis, berat volume, penyerapan, kadar lumpur.
2. Batu Pecah/ Agregat Kasar, Berat jenis, analisa saringan, penyerapan, kelembaban, berat volume, kadar lumpur
3. *Fly Ash*, meliputi : Uji Kimia.

Pembuatan Komposisi Campuran (*Mix Design*)

Metode *mix design* pada penelitian ini menggunakan metode *mix design* ACI (*American Concrete Institute*). Metode *mix design* ACI (*American Concrete Institute*) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan kekuatan dan pekerja beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).

Pengujian *Paving Stone*

Pengujian *paving stone* sesuai dengan standart SNI 03-0691-1996 meliputi pengujian kuat tekan, ketahanan aus, dan repan air pada umur 28 hari. Pengujian kuat tekan dan ketahanan aus dengan menggunakan alat uji yang ada di Laboratorium Uji Beton Diploma 3 Teknik Sipil ITS Surabaya. Pengujian resapan air dilakukan dengan menggunakan alat uji yang ada di Laboratorium Uji Bahan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya.

Perhitungan Biaya Produksi

Biaya produksi dihitung berdasarkan jumlah material, alat, dan upah yang dikeluarkan dalam membuat setiap komposisi *mix design* yang menghasilkan *paving stone* mutu A, yang mana biaya produksi *paving stone* normal (tanpa *fly ash*) dipakai sebagai acuan pembandingan terhadap biaya produksi *paving stone* yang mengandung *fly ash*. Kemudian dibuat grafik hubungan antara kadar *fly ash* dengan biaya produksi setiap komposisi. Dari

hasil tersebut akan diketahui pada kadar *fly ash* berapa persen menghasilkan biaya produksi yang optimum, dengan cara melihat pada grafik komposisi *paving stone* mutu A manakah yang menghasilkan biaya produksi yang terendah. Biaya produksi dihitung dengan menggunakan 2 komponen yaitu:

1. Biaya langsung meliputi biaya bahan baku, biaya tenaga kerja, dan biaya pengiriman.
2. Biaya tak langsung meliputi biaya *overhead* pabrik (*factory overhead cost*), umumnya didefinisikan sebagai bahan tidak langsung, tenaga kerja tidak langsung dan biaya pabrik lainnya, seperti ; biaya pemeliharaan pabrik, yang tidak secara mudah didefinisikan atau dibebankan pada suatu pekerjaan.

Kedua komponen biaya tersebut diatas didapatkan dengan teknik wawancara pada Pabrik Purnama beton, Gempol Pasuruan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan diuraikan beberapa hal mengenai kegiatan yang telah dikerjakan dan hasil yang diperoleh melalui penelitian beserta dengan nalisa hasilnya.

Pengujian Material Penyusun

1. Pasir/ Agregat Halus didapat kelembaban sebesar 1,42% ; analisa saringan dengan FM (*Fineness Modulus*) 2,46 dengan grafik zona 2 (pasir agak kasar); berat jenis sebesar 2,69 gr/cm³; berat volume sebesar 1,77 gr/cm³; penyerapan sebesar 1,21 %; kadar lumpur sebesar 1,83 %. Berdasarkan uraian diatas pasir dapat digunakan sebagai campuran *paving stone* berdasarkan SII 0052-80.
2. Batu Pecah/ Agregat Kasar didapat berat jenis sebesar 2,71 gr/cm³ memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu (2,0-3,0 gr/cm³); analisa saringan dengan FM (*Fineness Modulus*) 7,1 dengan gradasi material paling besar 10 mm memenuhi persyaratan SK SNI S-0401989-f (6,0-7,1); resapan air sebesar 2,04 %; kelembaban sebesar 1,01 %; berat volume sebesar 1,25 gr/cm³; kadar lumpur 0,70 % memenuhi persyaratan SII 0052-80 yaitu maksimal 1%.
3. *Fly Ash* dengan hasil kandungan uji kimia sebagai berikut:

Compound	Al	Si	K	Ca	Ti	V
Conc Unit	4.9 +/- 0.2 %	13.4 +/- 0.2 %	1.4 +/- 0.01 %	18.3 +/- 0.08 %	1.21 +/- 0.007 %	0.05 +/- 0.009 %
Compound	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
Conc Unit	0.11 +/- 0.002 %	0.55 +/- 0.02 %	54.62 +/- 0.15 %	0.16 +/- 0.008 %	0.093 +/- 0.003 %	0.06 +/- 0.003 %
Compound	Sr	Rb	Mo	Ba	Eu	Re
Conc Unit	1.00 +/- 0.04 %	0.28 +/- 0.008 %	2.5 +/- 0.02 %	0.47 +/- 0.06 %	0.47 +/- 0.12 %	0.1 +/- 0.03 %
Compound	Hg					
Conc Unit	0.45 +/- 0.02 %					

Gambar 2. Hasil Uji Kimia Fly As

Fly ash termasuk dalam kategori tipe C didapat dari kandungan kimia Ca (kalsium) sebesar $18,3 \pm 0,08\%$ dan kandungan kimia terbesar yaitu Fe (besi) sebesar $54,62 \pm 0,15\%$.

Pembuatan Komposisi Campuran (Mix Design)

Pembuatan Komposisi Campuran (*mix design*) dengan menggunakan metode ACI didapat komposisi campuran *paving stone* dengan memperhatikan karakteristik material penyusun sebagai berikut:

Tabel 2. Mix Design Paving Stone per 1m

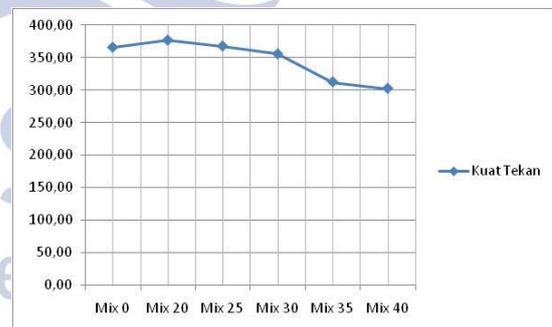
Mix Design	Semen Kg	Fly Ash Kg	Pasir Kg	Batu Pecah Kg	Air Kg
Mix 0	450,6	0	1141,1	562,5	222,4
Mix 20	360,5	90,1	1141,1	562,5	222,4
Mix 25	338,0	112,7	1141,1	562,5	222,4
Mix 30	315,4	135,18	1141,1	562,5	222,4
Mix 35	292,9	157,71	1141,1	562,5	222,4
Mix 40	270,4	180,24	1141,1	562,5	222,4

Pengujian Paving Stone

Data hasil pengujian *paving stone* dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut:

Tabel 3. Kuat Tekan Paving Stone Umur 28 Hari

Mix Desain	Kuat Tekan Rata-rata Umur 28 hari (kg/cm ²)
Mix 0	365,83
Mix 20	376,89
Mix 25	367,76
Mix 30	355,74
Mix 35	312,47
Mix 40	302,38

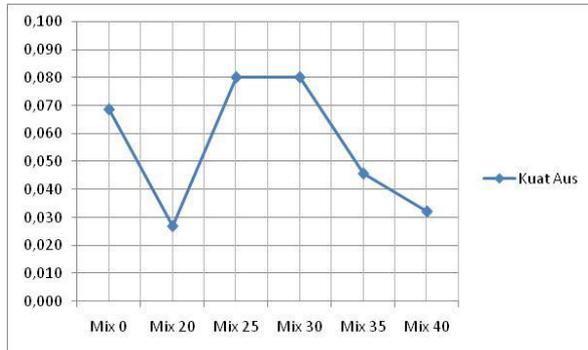


Grafik 1. Kuat Tekan Paving Stone Umur 28 Hari

Dilihat dari grafik diatas didapat kuat tekan *paving stone* mix 0; 20; 25; 30; 35; 40 secara berurutan sebesar $365,83 \text{ kg/cm}^2$; $376,89 \text{ kg/cm}^2$; $367,76 \text{ kg/cm}^2$; $355,74 \text{ kg/cm}^2$; $312,47 \text{ kg/cm}^2$; $302,38 \text{ kg/cm}^2$. Persyaratan menurut SNI 03-0691-1989 kuat tekan rata-rata minimum paving stone mutu A sebesar 35 MPa atau $356,90 \text{ kg/cm}^2$ (Tabel 2.1), sehingga dapat disimpulkan komposisi *mix design* yang memenuhi persyaratan adalah mix 0; 20; 25.

Tabel 4. Ketahanan Aus *Paving Stone* Umur 28 Hari

Mix Desain	Ketahanan Aus Rata- rata Umur 28 hari (mm/menit)
Mix 0	0,069
Mix 20	0,027
Mix 25	0,080
Mix 30	0,080
Mix 35	0,046
Mix 40	0,032

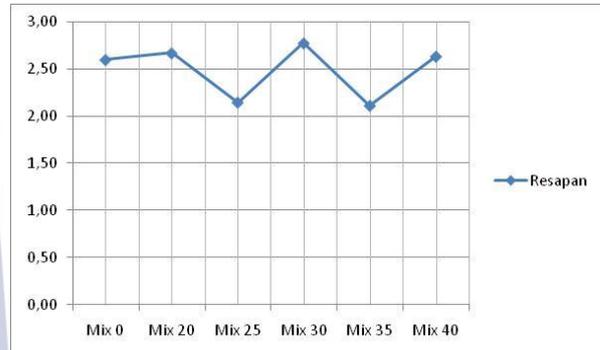


Grafik 2. Ketahanan Aus *Paving Stone* Umur 28 Hari

Dilihat dari grafik diatas didapat kuat aus *paving stone* mix 0; 20; 25; 30; 35; 40 secara berurutan sebesar 0,069 mm/menit; 0,027 mm/menit; 0,080 mm/menit; 0,080 mm/menit; 0,046 mm/menit; 0,032 mm/menit. Persyaratan menurut SNI 03-0691-1989 *paving stone* mutu A kuat aus rata- rata maksimum sebesar 0,103 (Tabel 2.1), sehingga dapat disimpulkan komposisi *mix design* yang memenuhi persyaratan adalah mix 0; 20; 25; 30; 35; 40.

Tabel 5. Resapan Air *Paving Stone* Umur 28 Hari

Mix Desain	Penyerapan Rata- rata Umur 28 hari (%)
Mix 0	2,60
Mix 20	2,67
Mix 25	2,15
Mix 30	2,78
Mix 35	2,11
Mix 40	2,63



Grafik 3. Resapan *Paving Stone* Umur 28 Hari

Dilihat dari grafik diatas didapat resapan *paving stone* mix 0; 20; 25; 30; 35; 40 secara berurutan sebesar 2,60%; 2,67%; 2,15%; 2,78%; 2,11%; 2,63%. Persyaratan menurut SNI 03-0691-1989 *paving stone* mutu A resapan rata- rata maksimum sebesar 3,0% (Tabel 2.1), sehingga dapat disimpulkan komposisi *mix design* yang memenuhi persyaratan adalah mix 0; 20; 25; 30; 35; 40.

Tabel 6. Rekapitulasi Uji *Paving Stone*

Jenis Uji	Kode Mix Desain					
	0	20	25	30	35	40
Uji Tekan	Ok	Ok	Ok	Not Ok	Not Ok	Not Ok
Uji Aus	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Uji Resapan	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Berdasarkan tabel diatas dapat diambil kesimpulan *mix design* dengan kode M0; M20; M25; memnuhi persyaratan *paving stone* mutu A yg disyaratkan pada SNI 03-0691-1989.

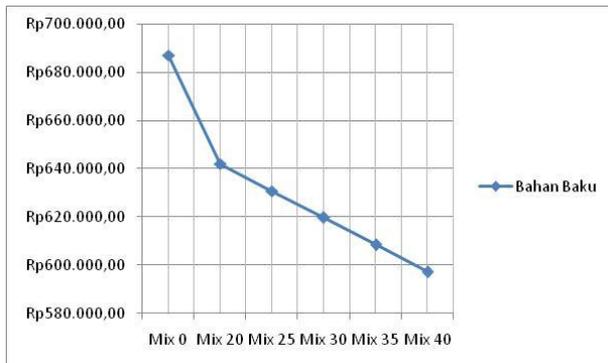
Perhitungan Biaya Produksi

Perhitungan biaya produksi meliputi biaya langsung dan biaya tak langsung, adapun biaya langsung meliputi biaya bahan baku, biaya upah tenaga kerja, dan biaya pengiriman sedangkan biaya tak langsung meliputi biaya solar genset, reparasi perawatan mesin, upah tenaga mekanik, oli mesin, listrik, telepon, penyusutan mesin,

dan sewa lahan pabrik. Dalam 1m³ *mix design* paving stone menghasilkan rata-rata 793 biji.

Tabel 7. Biaya Bahan Baku/ Material Produksi Paving Stone 1m³

Mix Desain	Biaya Bahan Baku (Rp)
Mix 0	Rp 687.208,75
Mix 20	Rp 642.148,75
Mix 25	Rp 630.883,75
Mix 30	Rp 619.618,75
Mix 35	Rp 608.353,75
Mix 40	Rp 597.088,75

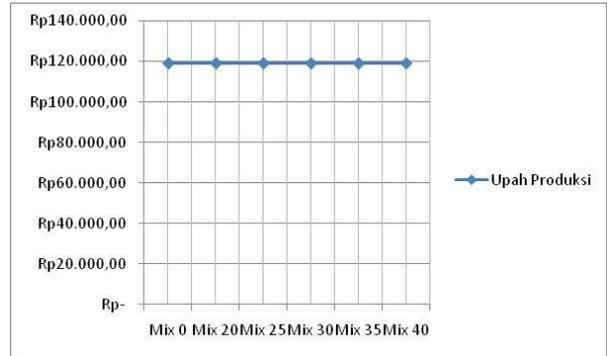


Grafik 4. Biaya Bahan Baku/ Material Produksi Paving Stone 1m³

Dilihat dari grafik diatas didapat biaya bahan baku produksi paving stone dalam 1m³ mengalami penurunan pada setiap penambahan prosentase substitusi. Hal ini terjadi karena harga dari material substitusi yaitu *fly ash* yang lebih murah dibandingkan material penyusun utama yaitu semen, sehingga jika prosentase substitusi bertambah maka harga bahan baku semakin menurun.

Tabel 8. Upah Produksi Paving Stone 1m³

Mix Desain	Upah Produksi (Rp)
Mix 0	Rp 118.950,00
Mix 20	Rp 118.950,00
Mix 25	Rp 118.950,00
Mix 30	Rp 118.950,00
Mix 35	Rp 118.950,00
Mix 40	Rp 118.950,00

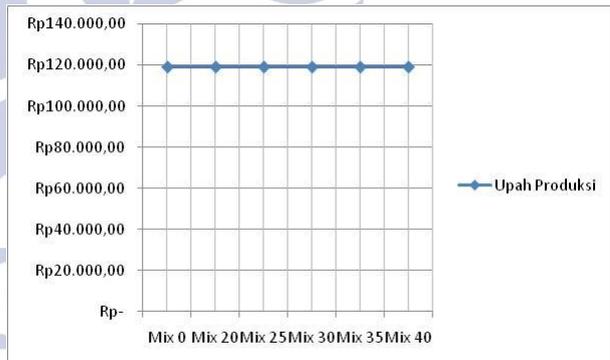


Grafik 5. Upah Produksi Paving Stone 1m³

Dilihat dari grafik diatas didapat upah produksi paving stone dalam 1m³ tetap pada setiap penambahan prosentase substitusi.

Tabel 9. Biaya Pengiriman Paving Stone 1m³

Mix Desain	Biaya Pengiriman (Rp)
Mix 0	Rp 153.682,17
Mix 20	Rp 153.682,17
Mix 25	Rp 153.682,17
Mix 30	Rp 153.682,17
Mix 35	Rp 153.682,17
Mix 40	Rp 153.682,17

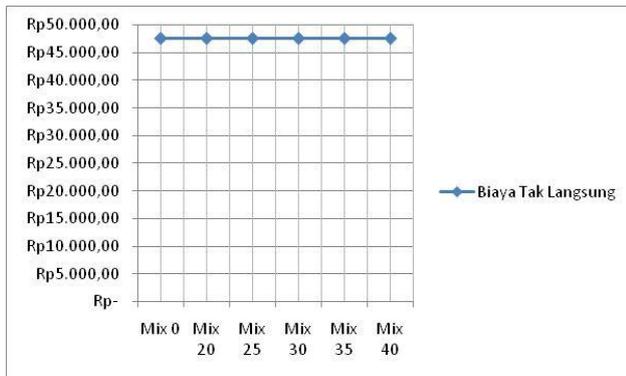


Grafik 6. Biaya Pengiriman Paving Stone 1m³

Dilihat dari grafik diatas didapat biaya pengiriman paving stone dalam 1m³ tetap pada setiap penambahan prosentase substitusi.

Tabel 10. Biaya Tak Langsung Produksi Paving Stone 1m³

Mix Desain	Biaya Tak Langsung (Rp)
Mix 0	Rp 47.604,91
Mix 20	Rp 47.604,91
Mix 25	Rp 47.604,91
Mix 30	Rp 47.604,91
Mix 35	Rp 47.604,91
Mix 40	Rp 47.604,91



Grafik 7. Upah Produksi Paving Stone 1m³

Dilihat dari grafik diatas didapat biaya tak langsung produksi paving stone dalam 1m³ tetap pada setiap penambahan prosentase substitusi.

Biaya produksi *paving stone* per 1m³ ialah penjumlahan antara biaya langsung dan tak langsung. Berdasarkan tabel 7 biaya produksi pada setiap *mix design* M0; M20; M25; M30; M35; M40 secara berturut-turut sebesar Rp. 54.628 ; Rp. 52.184 ; Rp. 51.574 ; Rp. 50.963 ; Rp. 50.352 ; Rp. 49.741 per m². Biaya produksi terendah terdapat pada campuran *mix* 40, hal ini terjadi dikarenakan jumlah *fly ash* yang mensubstitusi semen terbanyak sehingga menekan biaya produksi. Berikut tabel rekapitulasi uji *paving stone* dan biaya produksi:

Tabel 11. Rekapitulasi Uji *Paving Stone* dan Biaya Produksi

Jenis Uji	Kode <i>Mix Desain</i>					
	0	20	25	30	35	40
Uji Tekan	Ok	Ok	Ok	Not Ok	Not Ok	Not Ok
Uji Aus	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Uji Resapan	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Biaya Produksi (Rp)/m ²	54.628,21	52.184,86	51.574,02	50.963,18	50.352,34	49.741,50

Tabel 12. Rekapitulasi Biaya Produksi 1m³ paving stone M0; M20; M25; M30; M35; M40 (Rp)

NAMA BIAYA	Mix 0	Mix 20	Mix 25	Mix 30	Mix 35	Mix 40
Biaya Langsung :						
Biaya Bahan Baku :						
Semen	Rp 450.600,00	Rp 360.480,00	Rp 337.950,00	Rp 315.420,00	Rp 292.890,00	Rp 270.360,00
Pasir Lumajang	Rp 135.384,75	Rp 135.384,75	Rp 135.384,75	Rp 135.384,75	Rp 135.384,75	Rp 135.384,75
Batu Pecah 0,5-1,0	Rp 99.000,00	Rp 99.000,00	Rp 99.000,00	Rp 99.000,00	Rp 99.000,00	Rp 99.000,00
Fly Ash	Rp -	Rp 45.060,00	Rp 56.325,00	Rp 67.590,00	Rp 78.855,00	Rp 90.120,00
Air Kerja	Rp 2.224,00	Rp 2.224,00	Rp 2.224,00	Rp 2.224,00	Rp 2.224,00	Rp 2.224,00
Biaya Tenaga Kerja :						
Upah Tenaga Kerja	Rp 79.300,00	Rp 79.300,00	Rp 79.300,00	Rp 79.300,00	Rp 79.300,00	Rp 79.300,00
Upah Supervisor	Rp 23.790,00	Rp 23.790,00	Rp 23.790,00	Rp 23.790,00	Rp 23.790,00	Rp 23.790,00
Upah Tenaga Kerja Kantor	Rp 15.860,00	Rp 15.860,00	Rp 15.860,00	Rp 15.860,00	Rp 15.860,00	Rp 15.860,00
Biaya Transportasi :						
Biaya Pengiriman	Rp 153.682,17	Rp 153.682,17	Rp 153.682,17	Rp 153.682,17	Rp 153.682,17	Rp 153.682,17
Biaya Tak Langsung :						
Reparasi & Perawatan Mesin	Rp 2.202,78	Rp 2.202,78	Rp 2.202,78	Rp 2.202,78	Rp 2.202,78	Rp 2.202,78
Upah Tenaga Mekanik	Rp 1.888,10	Rp 1.888,10	Rp 1.888,10	Rp 1.888,10	Rp 1.888,10	Rp 1.888,10
Solar Mesin	Rp 28.038,21	Rp 28.038,21	Rp 28.038,21	Rp 28.038,21	Rp 28.038,21	Rp 28.038,21
Oli Mesin	Rp 629,37	Rp 629,37	Rp 629,37	Rp 629,37	Rp 629,37	Rp 629,37
Listrik & Telepon	Rp 6.293,65	Rp 6.293,65	Rp 6.293,65	Rp 6.293,65	Rp 6.293,65	Rp 6.293,65
Penyusutan Mesin & Alat	Rp 3.308,10	Rp 3.308,10	Rp 3.308,10	Rp 3.308,10	Rp 3.308,10	Rp 3.308,10
Sewa Lahan & Bangunan	Rp 5.244,71	Rp 5.244,71	Rp 5.244,71	Rp 5.244,71	Rp 5.244,71	Rp 5.244,71
Total Harga Produksi (Rp)	Rp 1.007.445,83	Rp 962.385,83	Rp 951.120,83	Rp 939.855,83	Rp 928.590,83	Rp 917.325,83
Jumlah Produk (Buah)	793	793	793	793	793	793
Total Harga Produksi Per Biji (Rp)	Rp 1.270,42	Rp 1.213,60	Rp 1.199,40	Rp 1.185,19	Rp 1.170,98	Rp 1.156,78
Total Harga Produksi Per m2 (Rp)/ 43 Biji	Rp 54.628,21	Rp 52.184,86	Rp 51.574,02	Rp 50.963,18	Rp 50.352,34	Rp 49.741,50

Berdasarkan tabel 4.44 didapat *mix design* 0; 20; 25 memenuhi persyaratan uji *paving stone* mutu A SNI 03-0691-1989 dengan biaya produksi pada tabel 4.45 secara berurutan Rp. 54.628 ; Rp. 52.184 ; Rp. 51.574 sedangkan *mix design* 30; 35; 40 tidak memenuhi persyaratan uji *paving stone* mutu A dengan biaya produksi secara berurutan Rp. 50.963; Rp. 50.352,34; Rp. 49.741,50. Sehingga didapat *mix design* yang memenuhi persyaratan *paving stone* mutu A dengan biaya produksi terendah ialah *mix design* 25.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Simpulan yang didapat dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Substitusi semen dengan menggunakan *fly ash* berpengaruh terhadap kuat tekan *paving stone* K-350 meningkat pada prosentase substitusi sebesar 20% dan 25%, menurun pada substitusi 30%, 35%, dan 40%. Prosentase substitusi yang memenuhi SNI 03-0691-1996 mutu A ($\geq 356,9$ kg/cm²) sebesar 0% menghasilkan kuat tekan 365,83 kg/cm², 20% menghasilkan kuat tekan 376,89 kg/cm², 25% menghasilkan kuat tekan 367,76 kg/cm².
2. Substitusi semen dengan menggunakan *fly ash* berpengaruh terhadap ketahanan aus *paving stone* K-350 meningkat pada prosentase substitusi sebesar 20%, 35%, dan

40%, menurun pada prosentase 25% dan 30%. Prosentase substitusi yang memenuhi SNI 03-0691-1996 mutu A ($\leq 0,090$ mm/menit) sebesar 0% menghasilkan ketahanan aus 0,069 mm/menit, 20% menghasilkan ketahanan aus 0,027 mm/menit, 25% menghasilkan ketahanan aus 0,080 mm/menit, 30% menghasilkan ketahanan aus 0,080 mm/menit, 35% menghasilkan ketahanan aus 0,046 mm/menit, 40% menghasilkan ketahanan aus 0,032 mm/menit.

3. Substitusi semen dengan menggunakan *fly ash* berpengaruh terhadap resapan air *paving stone* K-350 meningkat pada prosentase substitusi sebesar 25% dan 35%, menurun pada prosentase 20%, 30%, dan 40%. Prosentase substitusi yang memenuhi SNI 03-0691-1996 mutu A ($\leq 3,0\%$) sebesar % menghasilkan resapan air 2,60%, 20% menghasilkan resapan air 2,67%, 25% menghasilkan resapan air 2,15%, 30% menghasilkan resapan air 2,78%, 35% menghasilkan resapan air 2,11%, 40% menghasilkan resapan air 2,63%.
4. Komposisi optimum substitusi semen dengan menggunakan *fly ash paving stone* K-350 sebesar 25%.

5. Substitusi semen dengan menggunakan *fly ash* berpengaruh terhadap biaya produksi dapat menurunkan biaya bahan baku sebesar 1,75%-1,85% setiap penambahan substitusi semen dengan menggunakan *fly ash* sebesar 5%.
6. Koposisi substitusi semen dengan menggunakan *fly ash* yang paling optimum terhadap biaya produksi sebesar 25% dengan biaya produksi sebesar Rp. 51.574/m² (43 biji).

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, Dara Puspa. 2015. Ilmu Planologi atau Perencanaan Wilayah dan Kota (PWK): Infrastruktur dalam Pembangunan Ekonomi Indonesia, (Online), (<http://www.radarplanologi.com/2015/11/infrastruktur-dalam-pembangunan-ekonomi-indonesia.html>, diakses 3 April 2018).
- Anonim. 1980. *Spec Precast Concrete Paving Blocks, Cemen and Concrete Association County Surveyors Society Interpave*.
- Anonim. 1980. Standar Industri Indonesia (SII) 0052-80 tentang Mutu dan Cara Uji Agregat, Departemen Perindustrian Republik Indonesia.
- Anonim. 1987. SNI 03-0028-1987 tentang Cara Uji Ubin Semen, Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 1989. SK SNI S-04-1989-F tentang Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, Dinas Pekerjaan Umum.
- Anonim. 1990. SK. SNI. S-15-1990-F tentang Persyaratan Mutu Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan Dalam Campuran beton. Departemen Pekerjaan Umum
- Anonim. 1990. SK. SNI. T-04-1990-F tentang Tata Cara pemasangan Blok Beton Terkunci Untuk Permukaan Jalan, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. 1996. SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (*Paving Block*), Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. 2002. SNI 03-6820-2002 tentang Spesifikasi Agregat Halus untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen, Badan Standarisasi Nasional.
- Ashri, Fidyana, Ardiansa, Syahrudin, Maulanie, Estutie. 2010. "Pembuatan *Paving Block* dengan Campuran *Pulverized Fly Ash* dan Pasir Lumajang". Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah.
- ASTM C.150. 1985. *Standard Spesification for Portland Cement*. Annual Books of ASTM Standard. Philadelphia,USA.
- ASTM C.618-03. 2003. *Standard Specification for Pozzoland and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. Annual Books of ASTM Standard. Philadelphia,USA.
- Djumari, Safitri, Endah. 2009. "Kajian Teknis Dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Pada Produksi *Paving Block*". Jurnal Media Teknik Sipil. Vol. IX (1): hal. 36-40.
- Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah (LKPP). 2006-2018. *Layanan Pengadaan Secara Elektronik*. Surabaya.
- Suharwanto. 2000. "Penggunaan Abu Terbang (*Fly Ash*) dalam Beton, Prosiding Magang Intensif Beton". Pusat Antar Universitas (PAU) Ilmu Teknik, Yogyakarta.
- Sukirman, Silvia. 2003. *Perkerasan Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sutiko. 2003. *Panduan Praktek Beton*. Surabaya: Unipress.
- Tjokrodimuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri
- Windah, Reky S. Sumajouw, Marthin D.J. Umboh, Alfian Hendri. 2014. "Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) dari PLTU II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton". *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2 (7): hal. 352-358.
- Wiyanti, Dwi Sri. 2011. "Keuntungan dan Kerugian *Flexibel Pavement* dan *Rigid Pavement*". Jurnal Teodolita. Vol. 12 (2): hal. 12-18.