

PENGARUH PENGGUNAAN *TERNARY BLEND FLY ASH* DENGAN VOLUME TINGGI DAN ABU SEKAM PADI TERHADAP KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI

Sofa Rizki¹, Syamsul Bahri^{*2}, Sulaiman³, Hanif⁴, Aiyub⁵, Cut Yusnar⁶

^{1,2,3,4,5,6}Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, 24301 Lhokseumawe, Aceh, Indonesia

*e-mail: syamsul_bahri@pnl.ac.id.

Abstract

This study aims to find the effect of ternary blended: cement, fly ash (FA), and rice husk ash (ASP) on the compressive strength of high-strength concrete. The composition of FA and ASP used for cement replacement were 0%, 10% ASP, 30% FA, 10% ASP+30% FA, 10% ASP+40% FA, and 10% ASP+50% FA. The water-cement factor (FAS) and binder used are 0.3 and 500 kg/m³ fresh concrete, respectively. The specimens used for compressive strength is cubes of 100×100×100 mm with tests at the age of 1, 3, 7, 28, and 56 days. The results showed that the use of 10% ASP increased the compressive strength of the concrete compared to the control concrete but required more superplasticizers. The use of 30% FA as a cement substitute showed a decrease in compressive strength compared to control concrete but reduced the use of superplasticizer. The use of a combination of FA and ASP as a substitute for cement showed a decrease in compressive strength under control concrete and concrete using 30% FA. The decrease in the compressive strength of concrete with the combination of ASP and FA is beyond the initial expectation. This may be due to the disproportionate use of FA compared to ASP so that the reaction that occurs is not optimal to form calcium silicate hydrate (CSH). However, the use of ternary blended cement, FA, and ASP still has added values which is better workability than without using FA.

Keywords: High strength concrete, fly ash, rice husk ash, flexural strength, porosity

PENDAHULUAN

Limbah industri dan pertanian masih menjadi isu lingkungan karena pembuangannya di ruang terbuka. Tiap satu ton pembakaran batubara di industri pembangkit listrik menghasilkan limbah sekitar 15% - 17 % FA [1]. Limbah tersebut dibuang di lapangan terbuka sehingga mencemari air dan polusi udara. Demikian juga limbah pertanian dari 1 ton padi menghasilkan 20% sekam padi. Selanjutnya sekam padi tersebut dibakar untuk mengurangi limbah dan mengakibatkan polusi udara di lingkungan sekitar pabrik penggilingan padi. ASP yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi

dengan kandungan silika sebesar 95% [2]. FA dan ASP mengandung SiO₂ dan mempunyai sifat pozzolan sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan durabilitas pada beton [3]. Meskipun material ini bersifat pozzolan namun penggunaannya dalam konstruksi beton masih sangat minim. Penggunaan FA pada konstruksi beton di Aceh masih sangat rendah karena penggunaan FA sebelum ini terkendala pada PP Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 101 Tahun 2014 yang menyatakan FA sebagai Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).

Pemanfaatan FA yang maksimal dapat digunakan pada beton mutu tinggi dimana beton mutu tinggi itu membutuhkan

semen yang banyak karena beton ini mempunyai faktor air semen (FAS) yang rendah. Namun penggunaan semen yang banyak dapat menyebabkan peningkatan polusi udara karena produksi 1 ton semen menghasilkan 0,9 ton emisi CO₂ atau setara dengan 7% total emisi gas CO₂ di dunia [4]. Sehingga FA dapat digunakan sebagai pengganti semen pada konstruksi beton untuk mengurangi emisi gas CO₂ dari proses produksi semen. Rozi, dkk. [5] melaporkan bahwa FA PLTU Pangkalan Susu merupakan FA kelas C yang mengandung 34,81% SiO₂, 25,39% CaO, 14,92% Al₂O₃, 16,49% Fe₂O₃ dan 4,92% MgO dengan total senyawa SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ adalah 66,22%. Namun Mohamad dkk. [5] menyebutkan bahwa semakin besar nilai FA yang digunakan maka nilai kuat tekan yang didapat semakin rendah dari nilai tekan beton normal,

Yulianto dan Mukti [6] menggunakan persentase sekam padi sebesar 5%, 10% dan 15% dengan kandungan silica pada ASP sebesar 86,7% untuk mengetahui perbedaan kuat tekan yang terjadi. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan sekam padi sebesar 5% adalah persentase yang optimal untuk meningkatkan kuat tekan beton pada umur 28 hari namun kuat tekan yang terjadi terus meningkat dengan bertambahnya usia beton. Tobing, dkk. [2] melaporkan beton dengan ternary blend 5% ASP dan 10% FA sebagai pen-substitusi semen menghasilkan kuat tekan beton yang setara dengan beton tanpa bahan pen-substitusi semen. Penggunaan FA dalam volume tinggi dapat mengurangi friksi antar partikel karena butirannya yang berbentuk bulat dan halus. Selanjutnya FA akan meningkatnya sifat *workability* tapi kuat tekan pada usia dini lebih rendah dari kuat tekan beton normal [7]. Penurunan kuat tekan beton dapat diatasi dengan mengkombinasikannya dengan ASP karena ASP mempunyai kandungan silica yang bersifat amorph yang reaktif. Sifat silica itu menyebabkan mudahnya terbentuk CSH sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton [6].

Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 mendefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 40 MPa. *High Volume FA (HVFA) concrete* adalah beton dimana setidaknya mengandung 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan FA baik berupa kelas F maupun kelas C. Menurut Utami dkk. [8] penggunaan beton HVFA memiliki beberapa keuntungan terhadap beton yang dihasilkan, baik dalam keadaan beton segar maupun beton yang telah mengeras. Selanjutnya keuntungan lain dalam penggunaan beton HVFA adalah dapat menurunkan panas hidrasi yang terjadi sehingga mampu mencegah terjadinya retak pada beton.

Penelitian ini menggunakan FA dari PLTU Pangkalan Susu dan ASP dari penggilingan padi Punteut, Aceh Utara. Persentase FA yang digunakan adalah dalam volume tinggi yaitu sebesar 30%, 40% dan 50% dan persentase sekam padi konstan sebesar 10% dan jumlah binder 500 kg/m³. FAS yang digunakan sebesar 0.3. Penelitian ini akan meneliti tentang penggunaan FA volume tinggi dikombinasikan ASP terhadap kuat tekan beton kubus berukuran 100 mm × 100x 100 mm pada umur 1,3,7, 28 dan 56 hari.

METODE

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap pengujian yang berguna untuk mendapatkan data yang dibutuhkan. Objek pengamatan pada penelitian ini adalah perbandingan pengaruh penggunaan FA volume tinggi dan ASP dengan persentase yang berbeda terhadap kuat tekan beton mutu tinggi. Hasil pengujian ini memungkinkan pengurangan limbah FA yang bisa merusak lingkungan sehingga harus dilakukan sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan.

Material

Material yang digunakan untuk penelitian ini yaitu semen OPC type 1, aggregate halus, aggregate kasar, ASP, FA dan air. Semen yang digunakan adalah semen OPC Tipe 1 Merk Semen Padang kemasan 50 kg/sak. Agregat kasar menggunakan batu gravel pecah dari Krueng Mbang Kec. Geureudong Pase dengan diameter maksimum < 20 mm dan diuji dengan standar SNI 03-1968-1990. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alami yang terbentuk dari pecahan batu gunung yang berasal dari Krueng Tingkeum dengan butir lolos saringan 4.75 mm serta sesuai standar pada SNI 03-1968-1990. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil. Secara visual air tampak jernih, tidak berwarna dan tidak berbau. FA yang digunakan berasal dari PLTU Pangkalan Susu, Sumatra Utara, dengan jenis FA kelas C. Variasi kadar FA yang digunakan 30%, 40% dan 50%. ASP yang digunakan adalah ASP lokal dari penggilingan padi Punteut, Aceh Utara. Persentase ASP yang digunakan sebanyak 10% dari binder. Superplasticizer yang dipakai adalah Sikament NN yang memenuhi standar ASTM C 494-92 (Standar Specification for Chemical Admixtures for Concrete).

Methodologi

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi beberapa tahapan yaitu dari persiapan dan pemeriksaan sifat fisis material, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, pengujian kuat tekan dan lentur dan porositas beton. Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Pengujian *bulk* dan *apparent specific gravity* dan penyerapan (*absorbtion*) dari agregat halus menurut prosedur ASTM C128. Nilai ini diperlukan untuk menetapkan besarnya komposisi volume agregat halus dalam adukan beton (SNI 03-

1970-1990). Kadar lumpur dalam agregat halus di uji dengan SNI 03-4142-1996. Pengujian berat jenis FA dan ASP dilakukan dengan ASTM C.188-92. Perancangan beton menggunakan metode Absolute Volume. Benda uji kuat tekan yang akan dibuat adalah berupa kubus 150 x 150 x 150 mm. Komposisi *mix design* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Mix Design Per 1 m³ Beton Segar

Kode	Agregat Kasar Kg	Agregat Halus Kg	Semen Kg	Air Kg	Fly ash Kg	Abu Sekam Kg
Mix-1	964,6	518,0	500,0	178,7	0,0	0,0
Mix-2	958,4	839,9	450,0	143,3	0,0	50,0
Mix-3	958,4	839,9	350,0	143,3	150,0	0,0
Mix-4	958,4	839,9	300,0	143,3	150,0	50,0
Mix-5	958,4	839,9	249,4	143,3	200,6	50,0
Mix-6	958,4	839,9	200,6	143,3	249,4	50,0

Pada penelitian ini *slump* rencana yang digunakan adalah 100 mm. Pengujian *slump* dilakukan berdasarkan standar SNI 03-1972-2008/ ASTM C.143. Benda uji dibuka dari mold setelah 24 jam kemudian benda uji dirawat dengan memasukkan benda uji kedalam bak perendaman. Selanjutnya, benda uji diambil sesuai dengan umur pengujian beton. Pengujian kuat tekan dilakukan sesuai standar SNI 03-1974-1991 dengan menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Pengujian porositas beton dilakukan dengan memanfaatkan pecahan benda uji setelah uji tekan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sifat Fisis

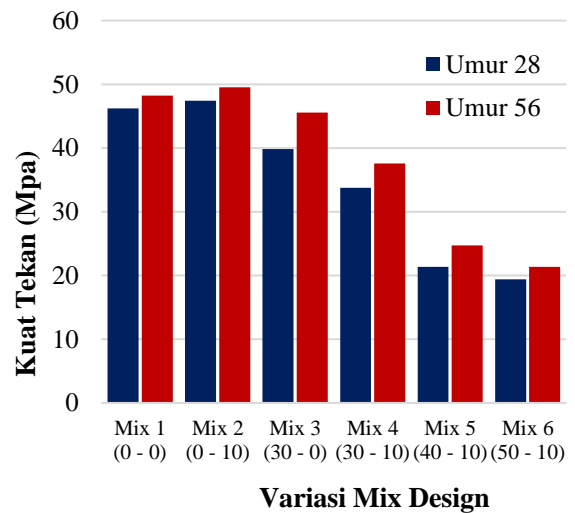
Hasil pengujian menunjukkan hasil sifat – sifat fisis terhadap agregat halus memenuhi ketentuan yang disyaratkan oleh ASTM. Berat volume yang didapat diatas batas minimum dari Standar ASTM yaitu diatas >1445 memenuhi syarat ASTM C.29-1991. Kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari berat beton jadi (Tomayahu, 2016). Hasil uji berat jenis

agregat halus didapati sebesar $2,489 \text{ Kg/m}^3$ dan memenuhi syarat ASTM C.566-13 yaitu antara $1,6 - 3,2 \text{ Kg/m}^3$. Berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol [9]. Faktor *absorption* agregat halus yang didapat 3,37% tidak melewati batasan standar ASTM yaitu max 12%. Selanjutnya, kadar air juga sangat berpengaruh pada penggunaan air pada saat pengecoran. Hasil pengujian kadar air adalah 5,82% dan memenuhi syarat ASTM yaitu kadar air harus dibawah 10%. Kadar lumpur yang disyaratkan ASTM yaitu $< 5\%$ dan hasil pengujian kadar lumpur adalah 1,5% memenuhi syarat ASTM.

Aggregat halus yang termasuk kedalam Zona 2 berdasarkan spesifikasi BS 882-92. Pada penelitian Fattah dan Nabi [10] tentang Pengaruh Zona Pasir Terhadap Kuat Tekan Beton Normal, beton yang menggunakan pasir zona 1 memiliki selisih kuat tekan lebih tinggi di umur 7 dan 14 hari dibandingkan pasir zona 2 namun pada umur 28 hari kedua mix ini tidak memberikan selisih yang terlalu besar. Aggregat kasar juga memenuhi ketentuan yang disyaratkan oleh ASTM. Berat volume yang didapat di atas batas minimum dari Standar ASTM yaitu diatas >1445 memenuhi syarat ASTM C.29-1991. Hasil uji berat jenis agregat kasar didapati sebesar $2,64 \text{ Kg/m}^3$ dan memenuhi syarat ASTM C.566-13 yaitu antara $1,6 - 3,2 \text{ Kg/m}^3$. Faktor *absorption* agregat kasar yang didapat 2,19% tidak melewati batasan standar ASTM yaitu max 12%. Hasil pengujian kadar air adalah 1,54% dan memenuhi syarat ASTM yaitu kadar air harus dibawah 10%. Agregat kasar batu pecah yang digunakan tergolong dalam zona sedang dengan ukuran maksimal 20 mm, dengan ini agregat kasar memenuhi ketentuan ASTM C-136 untuk digunakan dalam konstruksi beton.

Pengaruh Penambahan FA dan ASP Terhadap Kuat Tekan

Pengaruh variasi mix design terhadap kuat tekan diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan kuat tekan H28 - H56 kubus $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$

Gambar 1 menunjukkan pengujian kuat tekan pada beton kubus $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$. Nilai kuat tekan beton mix-2 meningkat 2,57% di umur 28 hari dan meningkat 2,78% pada umur 56 hari dibandingkan beton kontrol. Beton mix-3 menunjukkan penurunan nilai kuat tekan dari beton kontrol yaitu -26,91% pada umur 28 hari dan -5,52% pada umur 56 hari. Jika dilihat peningkatan dari hari 28 ke hari 56, peningkatan pada mix-1 4,33%, mix-2 4,53%, mix-3 14,33%, mix-4 11,19%, mix-5 15,99% dan mix-6 9,89%. Pada beton yang menggunakan FA dan beton yang menggunakan campuran FA dengan ASP terjadi kenaikan yang lebih besar dari hari 28 ke hari 56 dibandingkan dengan beton kontrol dan beton mix-2.

Penyebab terjadinya peningkatan nilai kuat tekan pada mix-2 Campuran 10% ASP yaitu karena adanya reaksi SiO_2 didalam ASP dengan Ca(OH)_2 sehingga membentuk gel CSH (*Calcium Silicate Hydrate*) disekitar partikel semen yang mengurangi pori beton sehingga beton menjadi lebih padat dan kuat dalam menerima tekanan

[11]. Peningkatan kandungan ASP hingga 15% meningkatkan kuat tekan beton, tetapi di atas nilai tersebut kekuatannya berkurang karena reaksi hidrasi dan kandungan semen yang menurun.

Zhang, dkk. [12] telah mempelajari dampak kombinasi ASP pada mikrostruktur, hidrasi, dan permukaan antara pasta dan agregat. Berdasarkan pada saat pengerjaan disimpulkan bahwa, kalsium hidroksida Ca(OH)_2 dan kalsium silikat hidrat (CSH) merupakan hasil hidrasi dan reaksi utama dalam pasta ASP. Karena reaksi pozzolan, pasta yang mengandung ASP memiliki kandungan Ca(OH)_2 yang lebih rendah daripada pasta semen tanpa campuran. Penggabungan (ASP) dalam beton mengurangi porositas dan Ca(OH)_2 . Yu, dkk.[13] melaporkan bahwa peningkatan sifat beton pada penambahan ASP dapat dikaitkan dengan penciptaan lebih banyak (CSH) gel dan lebih sedikit pori dalam beton karena reaksi antara (ASP) dan $(\text{Ca}^+, \text{OH}^-)$ atau Ca(OH)_2 .

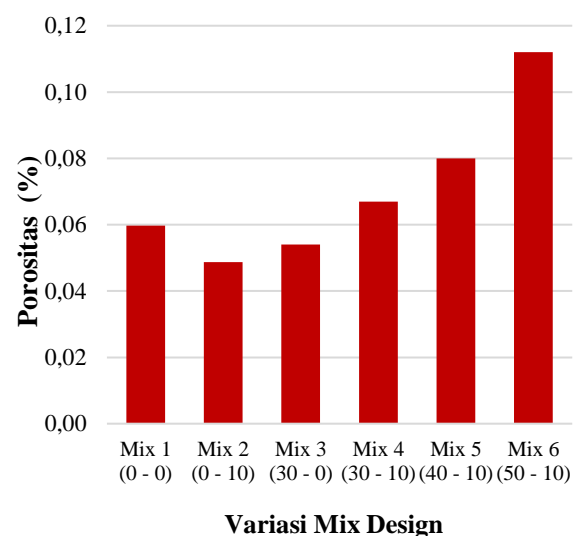
Penurunan nilai kuat tekan terjadi semakin bertambahnya kadar FA ke dalam campuran beton yang dibuat, mulai dari mix-3 yang menggunakan 30% FA nilai kuat tekan yang diperoleh pada umur 28 hari menurun 26,91% pada umur 28 hari dan 5,52% pada umur 56 hari dibandingkan dengan beton kontrol. Pada beton mix-4 penambahan 10% ASP pada campuran 30% FA yang diharapkan nilai kuat tekan yang diperoleh sama dengan mix-3 yang hanya menggunakan 30% FA tanpa ASP, ternyata nilai kuat tekan yang diperoleh menurun - 15,23% dari beton mix-3 pada umur 28 hari dan 17,56% pada umur 56 hari. Penurunan tsb. mungkin disebabkan karena perbedaan dalam beraksi dengan semen OPC Tipe 1 ketika terkena air. FA bereaksi lebih lambat untuk mengeras dibandingkan ASP sehingga ketika semen OPC Tipe 1 terkena air langsung terjadi reaksi hidrasi proses pengerasan yang juga bereaksi dengan ASP membentuk gel CSH (*Calcium Silicate Hydrate*) di sekitar partikel semen yang mengurangi pori beton. Ketika asp telah bereaksi mengeras dengan semen OPC, FA

belum mulai bereaksi sehingga tidak ikut menjadi bahan pengikat dan hanya menjadi sebagai *filler* di dalam campuran beton. FA yang tidak bereaksi menjadi pengikat membuat beton menjadi kurang kuat karena semen yang digunakan juga telah berkurang akibat penggantian semen dengan FA dan ASP. Meskipun nilai yang diperoleh dari beton yang menggunakan FA dan campuran FA dengan ASP tidak mencapai syarat untuk kategori beton mutu tinggi. Namun nilai kuat tekan yang diperoleh cukup untuk memenuhi standar beton struktural untuk bangunan gedung yaitu minimal 17 MPa (SNI 2847:2013).

Pada mix-2 dengan FAS 0.3 membuat proses pengadukan cukup sulit sehingga membutuhkan *superplasticizer* yang lebih banyak dibandingkan dengan beton yang menggunakan FA. Proses pengadukan lebih mudah dilakukan karena air yang dicampurkan tidak cepat kering seperti yang terjadi pada pengadukan mix-2 dengan campuran 10% ASP.

Pengaruh FA dan ASP Terhadap Porositas Beton

Pengaruh variasi mix design terhadap porositas diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Porositas masing-masing mix beton

Gambar 2 menunjukkan bahwa beton dengan persentase penyerapan air tertinggi terjadi pada beton *mix-5* yang mengandung 40% *FA* dan 10% *ASP*. Dibandingkan dengan *mix-1* sebagai beton kontrol yang persentase penyerapan airnya 5,97% beton dari *mix-6* memiliki penyerapan air 46,7% lebih tinggi dari *mix-1*. Pada beton *mix-4* yang merupakan beton dengan nilai kuat lentur paling mendekati dengan *mix 1* sebagai kontrol penyerapan diperoleh lebih tinggi 0,72% dibandingkan dengan beton kontrol perbedaan yang sangat kecil. Pada beton *mix-3* yang menggunakan 30% *FA* nilai penyerapan yang diperoleh 0,57% lebih sedikit dari beton kontrol. Pada beton *mix-4*, *mix-5* dan *mix-6* nilai penyerapan beton yang diperoleh semakin meningkat dengan bertambahnya jumlah *FA* yang ditambahkan kedalam campuran.

Maholtra dan Mehta [14] menyatakan pengaruh *FA* dalam beton mutu tinggi adalah butiran *FA* yang halus membuat beton lebih padat karena rongga antara butiran agregat diisi oleh *FA*, sehingga dapat memperkecil pori-pori yang ada dan memanfaatkan sifat pozzolan dari *FA*. Selain itu penggunaan *FA* dengan takaran tertentu terbukti dapat meningkatkan kekuatan beton.

KESIMPULAN

Kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton *mix-2* (0% *FA* – 10% *ASP*), berdasarkan pengujian kuat tekan pada beton kubus 150 × 150 × 150 mm nilai kuat tekan meningkat 2,57% pada umur 28 hari dan 2,78% pada umur 56 hari dibandingkan dengan beton kontrol. Nilai kuat tekan yang diperoleh mencapai syarat untuk kategori beton mutu tinggi.

Porositas beton terendah diperoleh pada beton *mix-2* sesuai dengan kuat tekan tertinggi terdapat pada beton *mix-2*. Pada beton yang menggunakan *FA* dan kombinasi antara *FA* dengan *ASP* porositas yang diperoleh meningkat secara signifikan seiring bertambahnya komposisi *FA*.

SARAN

Penelitian tentang pengaruh penggunaan *FA* kelas C dan *ASP* dengan volume penggunaan yang berbeda terhadap nilai kuat lentur beton mutu tinggi diharapkan dapat dilanjutkan oleh peneliti lain dengan mempertimbangkan penggunaan *FA* dengan persentase dibawah 30% dari berat semen, jenis *FA* yang digunakan bisa dicoba *FA* kelas F yang mengandung silika lebih banyak dari kelas C, dan persentase penggunaan *ASP* diharapkan seimbang dengan persentase *FA* yang ditambahkan dalam campuran.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat berlangsung dengan baik karena didukung oleh dana DIPA tahun 2021 No. B/505/PL.20.7.1/PT00.02/2021 tanggal 5 Mei 2021. Ucapan terimakasih kepada PLTU Pangkalan Susu yang telah memberikan fly ash secara cuma-cuma dan mahasiswa/i sebagai pelaksana penelitian ini: Sofa Rizki, Abdul Muis, Riskiya, Wulandari, Hasaton Hasanah. Juga kami ucapkan terimakasih kepada Bpk Syukur Hidayat, ST yang telah membantu kelancaran penelitian di Laboratorium Bahan PNL.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Safitri, E., & Djumari. (2009). *Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu Bata (Fly Ash) Pada Produksi Paving Blok, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS*, 36.
- [2] Tobing, P.H. 2017. *Penggunaan Abu Sekam Padi dan Fly ash Sebagai Pen-Substitusi Semen Pada Beton, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Universitas Pakuan*. 1 (1), hal 2.
- [3] Rozi, dkk. 2020. Analisis Sifat Mekanik Beton *Geopolymer* Berbahan Dasar *Fly ash* PLTU Pangkalan Susu, *Jurnal Universitas*

- Sumatera Utara, Indonesia. Vol. 1 No. 5.
- [4] Imbabi, M., Carrigan, C., & McKenna, S. (2013). Trends and Developments In Green Cement and Concrete Technology, *School of Engineering, King's Collage, The University of Aberdeen, AB24 3UE Scotland, U.K*, 195.
- [5] Mohamad, R., Rachman, A., & Mointi, R. (2020), *Kuat tekan beton untuk mutu tinggi 45 MPa dengan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen, Sekolah Tinggi Teknik Bina Taruna, Indonesia, Vol. 8 No. 1*, hal-25.
- [6] Yulianto, F., & Mukti, M. (2015), *Pengaruh penambahan abu sekam padi pada kuat tekan beton campuran 1 pc: 2 ps: 3 kr, Jurnal Ilmia Dosen Teknik Sipil, Universitas Madura (UNIRA) Pamekasan*, hal-75.
- [7] Haque, M.N, dkk. 1984, High fly ash concretes, *Journal Proceedings, International Concrete Abstacts Portal. Vol. 1 No. I*
- [8] Utami, Shabina. 2017, *Kajian pengaruh variasi komposisi high volume fly ash terhadap parameter beton memadat sendiri dan kuat tekan beton mutu tinggi, Jurnal Matriks Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta. 1 (1)*, hal 3.
- [9] Tomayahu, Y. 2016, *Analisa Agregat Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Pembangunan Jalan Isimu-Paguyaman (Pavement Rigid). Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo. Vol. 4 No. 2. Hal 143*
- [10] Fattah, A & Nabi, A. 2017, *Pengaruh Zona Pasir Terhadap Kuat Tekan Beton Normal, Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M) 2017. Hal. 107*
- [11] Amin., M. & Abdelsalam, B. 2019. *Efficiency of rice husk ash and fly ash as reactivity materials in sustainable concrete. Civil and Architectural Construction Department, Faculty of Industrial Education, Suez University, 29:30*
- [12] Zhang, M.H., Lastra R, Maholtra, V.M, 1996, *Rice husk ash paste and concrete : some aspects of hydration and the microstructure of the interfal zone between the aggregate and paste, Cement Concrete Research 26 (6) 79-86*
- [13] Yu, Q., Sawayama, K., Sugita, S., Shoya, M., & Isojima, Y. (1999), *The reaction between rice husk ash and Ca(OH)₂ solution and the nature of its product, Cement and Concrete Research, vol.29, No.1, 37-43.*
- [14] Malhotra, V. M. & Mehta, P. K. 2005. *High Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories. , Ottawa, Canada,*