

# Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Dengan Volume Tinggi Dan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Lentur Beton Mutu Tinggi

Abdul Muis<sup>1</sup>, Syamsul Bahri<sup>2</sup>, Sulaiman<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan,  
Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

<sup>1</sup>abdulmuis.pnl@gmail.com

<sup>2</sup>syamsul\_bahri@pnl.ac.id (penulis korespondensi)

<sup>3</sup>arsulaiman60@gmail.com

**Abstrak**— Limbah industri dan pertanian masih menjadi isu lingkungan karena pembuangannya di ruang terbuka. Fly ash (FA) berasal dari pembakaran batubara di industri pembangkit listrik dan abu sekam padi berasal pembakaran sekam padi di penggilingan padi. Kedua material ini bersifat pozzolan namun penggunaannya dalam konstruksi beton masih sangat minim. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh kombinasi FA dan ASP sebagai pengganti sebagian semen terhadap beton mutu tinggi khususnya di kuat lenturnya dan porositasnya. Komposisi FA dan ASP yang digunakan untuk pengganti semen adalah 0%, 10% ASP, 30% FA, 10%ASP+30% FA, 10%ASP+40% FA, dan 10%ASP+50% FA. Faktor air semen (FAS) yang digunakan adalah 0,3 dengan 500 kg semen untuk 1 m<sup>3</sup> beton. Metode yang digunakan untuk mencari komposisi material beton adalah absolute volume method. Benda uji yang digunakan untuk kuat lentur adalah balok 100×100×500 mm dengan pengujian pada umur 28 dan 56 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 10% ASP meningkatkan kuat lentur dibanding beton kontrol namun membutuhkan superplastizer yang lebih banyak. Penggunaan 30% FA sebagai pengganti semen menunjukkan penurunan kuat lentur dibanding beton kontrol namun mengurangi penggunaan superplasticizer. Penggunaan kombinasi FA dan ASP sebagai pengganti semen menunjukkan penurunan kuat lentur dibawah beton yang menggunakan 30% FA. Penurunan kuat lentur beton dengan kombinasi ASP dan FA adalah diluar dugaan awal. Hal ini mungkin terjadi karena penggunaan FA dibanding ASP tidak proporsional sehingga reaksi yang terjadi tidak maksimal membentuk calcium silicate hydrate (CSH). Meskipun demikian penggunaan kombinasi ASP dan FA masih memiliki nilai tambah yakni workability yang lebih baik dibanding tanpa menggunakan FA.

**Kata kunci**— Beton mutu tinggi, fly ash, abu sekam padi, kuat lentur, porositas

**Abstract**— Industrial and agricultural wastes are still an environmental issue because their wastes are dumped in open spaces. Fly ash (FA) comes from burning coal in the power generation industry and rice husk ash (ASP) comes from burning rice husks in the surrounding rice mills area. Both of these materials are pozzolanic but their use in concrete construction is still limited. This study aims to find out the effect of the combination of FA and ASP as a partial replacement of cement on the flexural strength of high-strength concrete. The compositions 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) used is 0.3 with 500 kg of cement for 1 m<sup>3</sup> of concrete. The method used to find the composition of the concrete material is the absolute volume method. The size of specimen used for flexural strength is a prism of 100×100×500 mm and being tested at the age of 28 and 56 days. The results showed that the use of 10% ASP increased the flexural strength compared to the control concrete but required more superplasticizer. The use of 30% FA as a substitute for cement showed a decrease in flexural 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 flexural strength under concrete using 30% FA. The decrease in flexural 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 a combination of ASP and FA still has added value, namely better workability than without using FA.

**Keywords**— High strength concrete, fly ash, rice husk ash, flexure strength, porosity.

## I. 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 sio<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> atau setara dengan 7% total emisi gas CO<sub>2</sub> di dunia [4]. Sehingga FA dapat digunakan sebagai pengganti semen pada konstruksi beton untuk mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub> dari proses produksi semen. Rozi, dkk. [5] melaporkan bahwa FA PLTU Pangkalan Susu merupakan FA kelas C yang mengandung 34,81% SiO<sub>2</sub>, 25,39% CaO, 14,92% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 16,49% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan 4,92% MgO dengan total senyawa SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 penggunaan ASP 5% dan FA 10% 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 sekam padi karena sekam padi dapat meningkatkan kuat tekan beton [6].

Beton bermutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan antara 40 – 80 MPa. Beton mutu tinggi (high strength concrete) yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan 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 fmaupun 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 sebesar 10% dan jumlah binder 500 kg/m<sup>3</sup>. FAS yang digunakan sebesar 0.3. Penelitian ini akan meneliti tentang penggunaan FA volume tinggi dikombinasikan ASP terhadap kuat lentur beton balok berukuran 100 mm × 100 mm × 500 mm pada usia 28 hari dan 56 hari.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

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

### A. Material

Material yang digunakan untuk penelitian ini yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, ASP, FA, superplasticizer dan air. Semen yang digunakan adalah semen OPC Tipe I 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 sekam padi lokal dari penggilingan padi Punteut, Aceh Utara. Persentase ASP yang digunakan konstan sebanyak 10% dari binder. *Superplasticizer* yang dipakai adalah Sikament NN yang memenuhi standar ASTM C 494-92 (*Standar Specification for Chemical Admixtures for Concrete*).

### B. 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 dihitung dengan ASTM C.188-92.

Perancangan beton menggunakan metode Absolute Volume. Benda uji yang akan dibuat berupa prisma berukuran 100 x 100 x 500 mm untuk uji kuat lentur. Komposisi *mix design* dapat dilihat pada Tabel 1

TABEL 1. KOMPOSISI MIX DESIGN PER 1 M<sup>3</sup> BETON SEGAR

Kode	Agregat Kasar	Agregat Halus	Semen	Air	FA	ASP
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	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 cetakan 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 lentur dilakukan sesuai standar SNI 03-4431-2011. Selanjutnya, pengujian porositas beton dilakukan dengan memanfaatkan pecahan benda uji setelah uji lentur.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

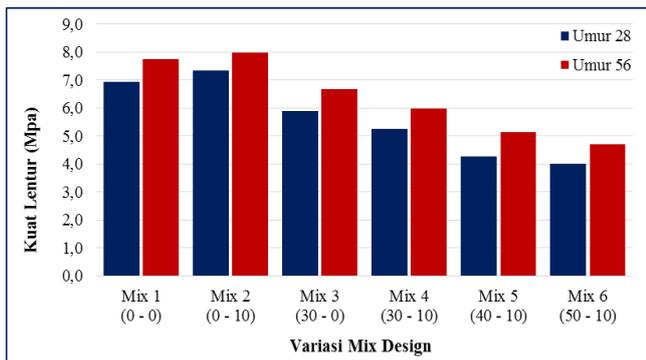
### A. Pengujian Sifat Fisis

Hasil pengujian menunjukkan hasil sifat-sifat fisis terhadap agregat halus memenuhi ketentuan yang disyaratkan oleh

ASTM. Berat volume yang didapat di atas memenuhi batas minimum dari Standar ASTM C.29-1991 yaitu diatas >1445 kg/m<sup>3</sup>. Kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari berat beton jadi [9]. Hasil uji berat jenis agregat halus didapat sebesar 2,489 Kg/m<sup>3</sup> dan memenuhi syarat ASTM C.566-13 yaitu antara 1,6-3,2 Kg/m<sup>3</sup>. Berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol [9]. Faktor absorption agregat halus yang didapat 3,37% tidak melewati batar 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 termasuk kedalam Zona 2 berdasarkan spesifikasi BS 882-92. Fattah dan Nabi [10] menguji tentang pengaruh zona pasir terhadap kuat tekan beton normal dan melaporkan 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. Agregat kasar juga memenuhi ketentuan yang disyaratkan oleh ASTM. Berat volume yang didapat di atas batas minimum dari Standar ASTM C.29-1991 yaitu diatas >1445 kg/m<sup>3</sup>. Hasil uji berat jenis agregat kasar didapat sebesar 2,64 Kg/m<sup>3</sup> dan memenuhi syarat ASTM C.566-13 yaitu antara 1,6 - 3,2 Kg/m<sup>3</sup>. Faktor absorption agregat kasar yang didapat 2,19% tidak melewati batar 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 sehingga agregat kasar ini memenuhi ketentuan ASTM C-136 untuk digunakan dalam kontruksi beton.

**B. Pengaruh FA dan ASP Terhadap Kuat Lentur**



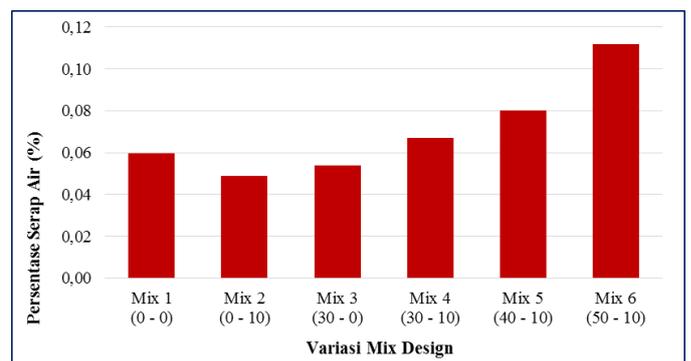
Gambar 1. Perbandingan kuat lentur beton umur 28 dan 56 hari

Gambar 1 menunjukkan perubahan kuat lentur pada umur 28 dan 56 hari dari setiap mix beton. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa semakin banyak persentase FA yang digunakan maka kuat lentur yang didapat semakin menurun. Beton mix 2 yang menggunakan substitusi 10% ASP 0% FA hasil yang didapat pada umur 56 hari meningkat sebesar 2,78% dari beton kontrol. Beton mix 2 menjadi hasil tertinggi yang diperoleh yaitu 7,43 MPa pada umur 28 hari dan 7,98 MPa pada umur 56 hari, ini melewati kuat lentur beton mix 1 sebagai kontrol yang hanya 6,92 MPa pada umur 28 dan 7,76 pada umur 56 hari. Hal ini sesuai dengan pernyataan Tam, dkk. [11] yaitu ASP membentuk calsium silikat hidrat atau

disebut juga torbermin yang mengisi pori-pori udara yang terperangkap. Hal ini lah yang dapat meningkatkan kepadatan pada beton reaktif. Annisa, dkk. [12] juga mengatakan penggunaan ASP pada beton yang optimal adalah dengan kombinasi 10% dan menghasilkan kuat lentur tertinggi pada umur 7 hari.

Semakin bertambahnya kadar FA, kuat lentur yang didapat semakin menurun mulai dari dari mix 3 (30% FA dan 0% ASP) pada umur 28 hari menurun 14,78% dan 13,79 pada umur 56 hari dibandingkan beton kontrol. Hal ini mungkin terjadi karena efek pozzolan dari FA yang memperlambat pengikatan semen portland pada beton muda [13]. Pada beton mix 4 yang merupakan kombinasi 30% FA dan 10% ASP diharapkan memperoleh hasil yang sama dengan mix 3, namun hasil yang didapat mempeoleh penurunan sebesar 10,71% dari beton mix 3 pada umur 28 hari dan 10,91 pada umur 56 hari. Hal ini mungkin terjadi karena kombinasi FA dan ASP belum proportional sehingga reaksi yg terjadi tidak maksimal membentuk *Calsium Cilicate Hydrate* (CSH).

**C. Pengaruh FA dan ASP Terhadap Porositas Beton**



Gambar 2. Porositas pada beton terhadap berbagai mix beton

Gambar 2 menunjukkan bahwa beton dengan persentase porositas tertinggi terjadi pada beton *mix-5* yang mengandung 40% FA dan 10% ASP. Dibandingkan dengan mix-1 sebagai beton kontrol yang persentase porositasnya 5,97% beton dari mix-6 memiliki porositas 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 porositas yang diperoleh 0,57% lebih sedikit dari beton kontrol. Pada beton *mix-4*, *mix-5* dan *mix-6* nilai porositas beton yang diperoleh semakin meningkat dengan bertambahnya jumlah FA yang ditambahkan kedalam campuran.

Mardiono [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 juga memanfaatkan sifat pozzolan dari FA. Selain itu penggunaan FA dengan takaran tertentu terbukti dapat meningkatkan kekuatan beton. Namun hasil penelitian ini menunjukkan sebaliknya. Penggunaan FA bersamaan dengan ASP menunjukkan penambahan porositas beton. Hal ini mungkin reaksi ASP yang lebih awal mengikat dengan CaOH yang terbatas sehingga kesempatan FA untuk beraksi lebih kecil. Sehingga FA hanya berfungsi sebagai filler.

#### IV PENUTUP

##### A. Simpulan

1. Kuat lentur tertinggi diperoleh pada beton mix-2 (0% FA – 10% ASP) yaitu 7,43 MPa pada umur 28 hari dan 7,98 MPa pada umur 56 hari. Nilai kuat lentur mix-2 lebih tinggi sebesar 2,78% dari beton kontrol yaitu 6,92 MPa pada umur 28 dan 7,76 pada umur 56 hari.
2. Porositas beton terendah diperoleh pada beton mix-2 sesuai dengan hasil uji kuat tekan dan kuat lentur, nilai 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.

##### B. 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 :

1. Penggunaan FA dengan persentase dibawah 30% dari berat semen.
2. Jenis FA yang digunakan bisa dicoba FA kelas F yang mengandung silika lebih banyak dari kelas C.
3. 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/515/PL.20.7.1/PT00.02/202 tanggal 5 Mei 2021. Ucapan terimakasih kepada PLTU Pangkalan Susu yang telah memberikan fly ash secara percuma 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.

#### REFERENSI

- [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 Ilmiah Dosen Teknik Sipil, Universitas Madura (UNIRA) Pamekasan*, hal-75.

- [7] Haque, M.N, dkk. 1984. “High Fly ash Concretes” *Journal Proceedings, International Concrete Abstracts Portal*. Vol. 1 No. 1
- [8] Utami, S. 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] Tam, C. M., Tam, V. W. Y., & Ng, K. M., 2010, Optimal conditions for producing reactive powder concrete, 16 (10), 701–716
- [12] Annisa, M.A., Aulia, M., Irianti, L. (2019). Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur pada Beton Reaktif ( Reactive Powder Concrete ). *JRSDD*, 7(2), 223–234.
- [13] Amalia, A., & Riyadi, M. (2019). Kualitas Beton SCC dengan Substitusi Agregat Halus Tailing Tambang Emas Daerah Pongkor. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 25(1), 59.
- [14] Mardiono, S. H. M., (2010). Pengaruh pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Dalam Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Ilmiah Desain Dan Konstruksi*, Vol 9, No 1.