

## **Daya Serap Dan Kuat Tekan Beton Ringan Menggunakan Styrofoam (Studi Penelitian)**

**Ardi Fatahillah Nasution**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, <sup>2</sup>Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan  
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara

*ardi.fatahillah494@gmail.com*

### **Abstrak**

*Pembuatan beton ringan membutuhkan material campuran yang mempunyai berat jenis yang rendah. Salah satu bahan alternatif yang bisa digunakan adalah styrofoam. Penelitian ini menggunakan butiran styrofoam yang berasal dari Kota Medan dengan ukuran butiran styrofoam yaitu 2 sampai 5mm dan akan disubstitusikan dengan agregat halus. Adapun komposisi substitusi campuran styrofoam adalah 0%, 1%, 2% dan 2,5% dari berat agregat halus. Dalam penelitian ini terbagi menjadi 2 pengujian kuat tekan yaitu untuk kuat tekan setelah perendaman 14 hari dan 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian berat jenis basah dan berat jenis kering beton ringan styrofoam yang telah diuji tersebut memenuhi persyaratan dimana kisaran beton ringan sesuai referensi adalah kurang dari 1900 kg/m<sup>3</sup>. Adapun berdasarkan pengujian kuat tekan 14 hari dan 28 hari berkisar antara 1,5 - 7,5 MPa dimana penggunaannya pada daerah non struktur seperti dinding partisi, kanopi, dan lain-lain.*

**Kata Kunci** : Beton ringan, Styrofoam, Kuat tekan

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini pembangunan struktur bangunan sipil seperti pembangunan hotel, pembangunan perumahan, pembangunan perkantoran, dan bangunan lainnya terus meningkat. Beton merupakan bahan konstruksi suatu bangunan yang sering digunakan oleh masyarakat, karena beton memiliki suatu keunggulan dibandingkan material yang lainnya, seperti tahan terhadap perubahan cuaca, memiliki kekuatan yang baik, serta mudah dalam suatu pengerjaan (Nathalia dkk, 2020).

Ada berbagai jenis beton yang biasanya digunakan dalam konstruksi sipil antara lain beton normal, beton mutu tinggi dan beton ringan. Proses pembuatan beton ringan membutuhkan material campuran yang mempunyai berat jenis yang rendah. Menurut Standar Nasional Indonesia 03-2847 tahun 2002, beton dapat digolongkan sebagai beton ringan jika beratnya kurang dari 1900 kg/m<sup>3</sup>. Salah satu bahan alternatif yang bisa digunakan adalah styrofoam. Menggunakan styrofoam pada campuran beton, secara total berat beton menjadi lebih ringan dan nilai guna pada styrofoam akan bertambah. Namun hal ini akan berpengaruh pada kekuatan beton tersebut seiring dengan penambahan styrofoam pada campuran beton.

Selain harganya yang murah, styrofoam atau expanded polystyrene yang terbuat dari polisterin atau yang lebih dikenal dengan gabus putih kerap menjadi limbah styrofoam maupun limbah rumah tangga yang menjadi masalah lingkungan karena sifat styrofoam yang tidak dapat membusuk dan sulit terurai di alam (Surya, 2019),

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental terhadap Penyerapan dan Kuat Tekan Beton Ringan Menggunakan Styrofoam untuk mengevaluasi seberapa besar pengaruh styrofoam dalam campuran beton ringan dengan perbandingan styrofoam yang bervariasi yaitu 0%, 1%, 2%, dan 2,5% sebagai substitusi agregat halus.

### **Beton**

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (Dipohusodo, 1993).

Ditinjau dari ilmu bahan, beton termasuk material komposit, yang terdiri dari pasta semen dan agregat. Pasta semen berfungsi sebagai bahan perekat sebagai wujud campuran semen dengan air, setelah mengalami reaksi hidrasi akan berperan sebagai bahan perekat untuk mengikat fragmen-fragmen agregat kasar dan halus sehingga menjadi satu kesatuan yang padat dan kuat. Sedangkan agregat berperan sebagai bahan pengisi yang terdiri dari agregat kasar dan halus (Dedi, 2016).

### **Beton Ringan**

Menurut Standar Nasional Indonesia 03-2847 tahun 2002, beton dapat digolongkan sebagai beton ringan jika beratnya kurang dari 1900 kg/m<sup>3</sup>. Membuat beton ringan diperlukan material yang memiliki berat jenis yang ringan pula. Berat jenis yang lebih ringan dapat dicapai jika berat beton diperkecil yang berpengaruh pada menurunnya kekuatan beton tersebut. Pembuatan beton ringan pada prinsipnya adalah membuat rongga dalam beton.

Menurut (Surya, 2019) Ada 3 macam cara membuat rongga udara dalam beton, yaitu :

1. Cara paling sederhana yaitu dengan memberikan agregat ringan. Agregat ini bisa berupa batu apung, batu alwa, atau abu terbang (fly ash) yang dijadikan batu. Adapun spesifikasi agregat ringan yang digunakan dalam pembuatan beton dengan pertimbangan utama adalah ringannya bobot dan tinggi kekuatan yang meliputi: persyaratan komposisi kimia, dan sifat fisik agregat sesuai standar SNI 03-2461-2002.
2. Menghilangkan agregat halus (agregat halus disaring, contohnya debu/abu terbangnya dibersihkan).
3. Meniupkan atau mengisi udara di dalam beton. Cara ini dibagi lagi menjadi secara mekanis dan kimiawi. Bahan campuran berupa pasir kwarsa, semen, kapur, sedikit gypsum, air, dan dicampur aluminium pasta sebagai bahan pengembang secara kimiawi.

Beton yang memiliki berat isi antara 1400-1800 kg/m<sup>3</sup> disebut beton ringan. Beton ringan terdiri dari campuran bahan yang sesuai dengan kriteria ringan dan memiliki kuat tekan yang setabil. (Iwan and Siswanto, 2018). Beton ringan digunakan untuk mengurangi bobot mati dari struktur bangunan.

#### **Material Penyusun Beton Ringan Styrofoam**

Adapun material penyusun beton ringan yang digunakan pada penelitian ini yakni Semen PCC, agregat halus, air, dan styrofoam dengan perbandingan variasi yang berbeda-beda yakni 0%, 1%, 2%, dan 2,5% sebagai substitusi agregat halus.

#### **Semen**

Semen memiliki sifat utama yaitu mengikat dengan adanya air. Dengan sifat tersebut, semen dalam campuran beton berfungsi sebagai pengikat bahan-bahan agregat (Gardjito, Candra, and Cahyo 2018).

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland diklasifikasikan menjadi 5 jenis, yaitu:

1. Jenis I, yaitu semen portland yang penggunaannya tidak memerlukan syarat-syarat khusus.
2. Jenis II, yaitu semen portland harus memiliki daya tahan terhadap panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu semen portland harus memiliki kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV, yaitu semen portland harus memiliki panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu semen portland harus sangat tahan terhadap sulfat.

#### **Agregat Halus**

Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras, Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (Nurmaidah, 2015). Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no.4 atau ukuran 4,75 mm (Mulyono, 2003). Persyaratan agregat halus SK SNI S-04-1989-F :

1. Butir-butirnya keras dan tidak berpori.
2. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan), jika di uji dengan larutan garam natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, jika di uji dengan garam magnesium sulfat maksimum 18%.
3. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 5%.
4. Tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
5. Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20%.
6. Modulus halus butir antara 1,5–3,8 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

7. Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari  $1/5$  jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan,  $1/3$  tebal pelat beton,  $3/4$  jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.
8. Agregat halus dari laut/pantai, boleh dipakai asalkan dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

#### **Air**

Kualitas dan kuantitas air yang digunakan untuk membantu pengikatan semen dan agregat harus diperhatikan dengan teliti. Umumnya cara yang populer yang digunakan untuk memilih air yang sesuai adalah jika air tersebut sesuai untuk diminum berarti juga sesuai digunakan untuk mencampur adukan beton (M.S. Shetty, 2000). Menurut PBB1 1971 air yang baik untuk campuran adukan beton adalah sebagai berikut :

1. Tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, bahan-bahan organis atau bahan-bahan lain yang merusak beton dan atau baja tulangan. Dalam hal ini sebaiknya dipakai air bersih yang dapat diminum.
2. Jumlah air yang dipakai untuk membuat adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran isi atau ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya.

#### **Styrofoam**

Styrofoam yang memiliki nama lain polystyrene, begitu banyak digunakan oleh manusia dalam kehidupannya sehari-hari. Begitu Styrofoam diciptakan pun langsung marak digunakan di Indonesia. Styrofoam pada umumnya digunakan sebagai pembungkus barang elektronik dan makanan karena sifatnya yang tidak mudah bocor, praktis dan ringan. Polystyrene ini dihasilkan dari styrene ( $C_6H_5CH=CH_2$ ) yang mempunyai gugus phenyl yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul. Styrofoam ini memiliki berat jenis sampai  $1050 \text{ kg/m}^3$ , kuat tarik sampai  $40 \text{ MN/m}^2$ , modulus lentur sampai  $3 \text{ GN.m}^2$ , modulus geser sampai  $0,99 \text{ GN/m}^2$ , angka poisson  $0,33$  (Dharmagiri, I.B, dkk, 2008). Dalam bentuk butiran (granular) expanded polystyrene mempunyai berat satuan sangat kecil yaitu  $13-22 \text{ kg/m}^3$ . Sehingga expanded polystyrene dalam campuran beton sangat cocok digunakan untuk mendapatkan berat jenis beton yang ringan.

Pada penelitian ini digunakan styrofoam yang memiliki ukuran butiran sebesar  $2 \text{ mm} - 5 \text{ mm}$ . Persentase penggunaan styrofoam pada campuran beton bervariasi yaitu sebesar  $0\%$ ,  $1\%$ ,  $2\%$  dan  $2,5\%$  sebagai substitusi pasir. Penetapan persentase styrofoam yang bervariasi dimaksudkan untuk mengetahui perilaku mekanik beton (kuat tekan) terbaik dalam campuran beton.

#### **Slump Flow (ASTM C1611)**

Secara umum, pengujian slump flow mirip dengan pengujian slump standar (ASTM C143/C143M), yaitu:

1. Slump cone diletakkan di tengah pelat slump flow dengan bukaan besar menghadap ke bawah.
2. Slump cone diisi dalam satu kali tuang (tanpa dirojok).
3. Slump cone kemudian diangkat dengan ketinggian  $\pm 7,5 \text{ cm}$  agar pasta beton dapat mengalir di atas papan slump.

Slump flow adalah diameter dari rata-rata diameter yang diambil dari dua arah. Besar perbedaan antara dua diameter yang didapat menandakan tidak meratanya tingkat permukaan. Beton ringan umumnya mempunyai slump flow antara  $50 \text{ cm}$  sampai  $70 \text{ cm}$ . Dikarenakan sifat yang cair dari Beton ringan, maka pada saat proses pengisian slump cone harus ditekan ke bawah dengan erat untuk mencegah agar pasta beton tidak mengalir keluar.

Secara matematis, slump flow dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SF = \frac{d1+d2}{2}$$

Keterangan :

SF = Slump Flow (mm)

d1 = Diameter 1 (mm)

d2 = Diameter 2 (mm)

### Kuat Tekan Beton

Kuat tekan merupakan suatu parameter yang menunjukkan besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur oleh gaya tekan tertentu. Dapat ditulis dengan persamaan (SNI 1974-2011) :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

f'c = Kuat Tekan Beton (N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang yang Menerima Beban (mm<sup>2</sup>)

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dari penelitian ini secara garis besar sebagai berikut:

### Desain dan Jumlah Benda Uji

Desain benda uji adalah sebagai berikut:

1. Benda uji silinder ukuran 15 x 30 cm<sup>2</sup> untuk pengujian kuat tekan beton ringan styrofoam.
2. Variasi persentase styrofoam : 0%, 1%, 2%, dan 2,5%.
3. Styrofoam yang digunakan berukuran 2-5 mm.

**Tabel 1. Tabel Benda Uji**

Beton	Umur Pengujian	Jumlah Sampel
	(Hari)	(Silinder)
Beton Styrofoam 0%	14	2
	28	2
Beton Styrofoam 1%	14	2
	28	2
Beton Styrofoam 2%	14	2
	28	2
Beton Styrofoam 2,5%	14	2
	28	2
Jumlah		16

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Beton, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen di laboratorium berupa analisis kuat tekan beton ringan dengan bahan pengisi styrofoam. Waktu penelitian direncanakan kurang lebih 4 bulan yakni mulai bulan Maret – Juli 2021.

### 3. HASIL Mix Design

Sampai saat ini, tidak ada pengaturan mix design yang baku untuk proses pembuatan beton ringan styrofoam. Hal ini disebabkan karena densitas yang berperan besar pada jenis beton ini bergantung pada styrofoam. Oleh karena itu, untuk acuan campuran yang digunakan didasarkan pada pendekatan terhadap SNI 03-6825-2002 serta jurnal penelitian-penelitian sejenisnya yang relevan.

Perhitungan mix design didasarkan pada volume cetakan yang akan digunakan dalam sekali pembuatan benda uji. Dalam adonan beton digunakan perbandingan semen dan agregat halus sebesar 1:2 dengan nilai FAS sebesar 0.55. Analisa Komposisi Campuran Saat Pelaksanaan: Digunakan cetakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

$$\begin{aligned} V_{\text{silinder}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,152 \times 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pada saat pelaksanaan pembuatan beton ringan, dalam sekali pengadukan digunakan sebanyak 2.5 volume benda uji. Hal ini dilakukan untuk pengujian slump flow serta mengantisipasi apabila adanya kekurangan adonan beton akibat kesalahan perhitungan.

$$\begin{aligned} \text{Volume 2.5 Benda Uji} &= 2,5 \times V_{\text{silinder}} \\ &= 2,5 \times 0,0053 \\ &= 0,01325 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dalam perencanaan beton ringan pada penelitian ini, komposisi mix design didasarkan pada berat jenis kering (density) rencana sebesar 1400 Kg/m<sup>3</sup>. Maka:

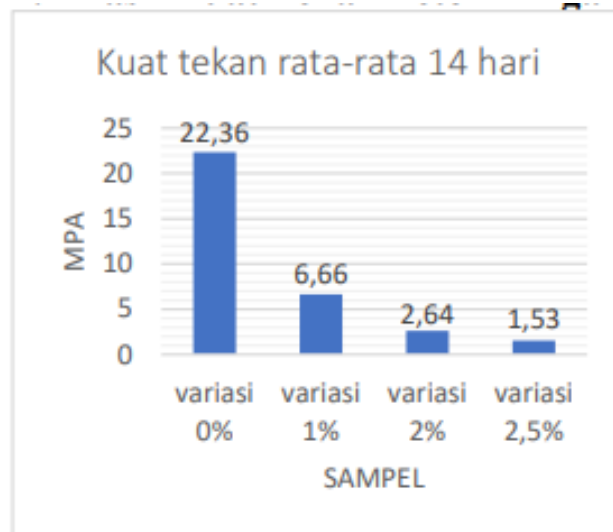
$$\begin{aligned} \text{Berat material rencana} &= \text{density rencana} \times V_{2,5} \\ &= 1400 \text{ kg/m}^3 \times 0,01325 \text{ m}^3 \\ &= 18,55 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Tabel 2 Komposisi Campuran Beton Ringan Styrofoam dalam 0.01325 m<sup>3</sup>**

No	Deskripsi	Beton ringan <i>styrofoam</i>			
		0%	1%	2%	2,5%
1	Semen (kg)	6,18	6,18	6,18	6,18
2	Agregat Halus (kg)	12,37	12,246	12,122	12,066
3	Air (l)	3,40	3,40	3,40	3,40
4	<i>Styrofoam</i> (kg)	0	0,1237	0,2474	0,3032

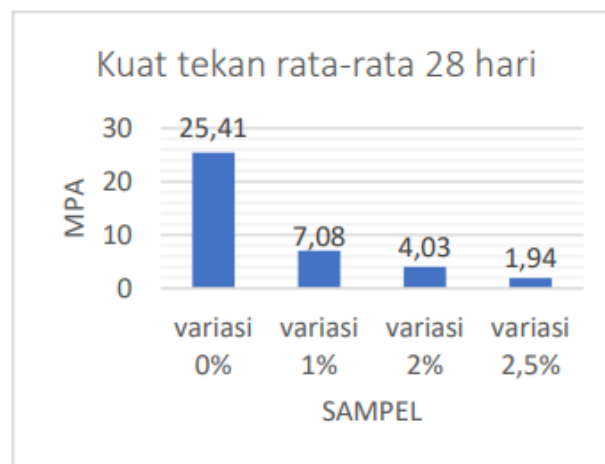
#### 4. PEMBAHASAN

##### Kuat Tekan Beton Ringan



Gambar 1 Grafik analisa kuat tekan sampel 14 hari.

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada variasi 0% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 22,36 MPa, kuat tekan pada sampel variasi 1% sebesar 6,66 MPa, kuat tekan pada sampel variasi 2% sebesar 2,64 MPa, dan kuat tekan pada sampel variasi 2,5% sebesar 1,53 MPa.



Gambar 2 Grafik analisa kuat tekan sampel 28 hari.

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada variasi 0% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 25,41 MPa, kuat tekan pada sampel variasi 1% sebesar 7,08 MPa, kuat tekan pada sampel variasi 2% sebesar 4,03 MPa, dan kuat tekan pada sampel variasi 2,5% sebesar 1,94 MPa.

#### 5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian sebagai berikut :

1. Hasil dari penambahan styrofoam pada beton ringan memberikan pengaruh terhadap tekan yaitu diperoleh nilai kuat tekan beton ringan normal atau tanpa styrofoam yaitu >17 MPa beton ringan tersebut dikategorikan sebagai beton

ringan struktur, sedangkan nilai kuat tekan beton ringan styrofoam variasi 0%, 1%, 2% dan 2,5% yaitu 0,35 - 7 MPa beton ringan tersebut dikategorikan sebagai beton ringan non struktur.

2. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa nilai penyerapan styrofoam pada benda uji silinder 15x30cm berkisar antara 0-6%, yaitu merupakan perbandingan antara berat jenis basah benda uji dan berat jenis kering benda uji

## REFERENSI

- Amrizal, A., & Lisra, J. (2016). Kajian Kelayakan Ekonomi Pembangunan Jembatan Layang Simpang Selayang Kota Medan. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 1(1).
- Dary, R. W., Frapanti, S., & Utami, C. (2019). Evaluasi Kekakuan Batu Bata Lubuk Pakam Pada Bangunan Bertingkat Dengan Analisis Pushover. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 11-15.
- Dharmagiri I. B., I Ketut Sudarsana, dan N.L.P. Eka Agustiniingsih. "Kuat Tarik Belah dan Lentur Beton dengan Penambahan Styrofoam." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Vo. 12 (Juli 2008)
- Dipohusodo, I., 1993, Struktur Beton Bertulang, Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, Departemen Pekerjaan Umum RI, PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Efrida, R. (2018). Pengaruh Setback Pada Bangunan Dengan Soft Story Terhadap Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa. *Educational Building Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 4(1 JUNI), 62-69.
- Efrida, R. (2010). *Analisis Struktur dengan Metode Kekakuan yang Dimodifikasi Untuk Gedung Beton Bertulang Bertantai Banyak Pada Stadium Retak* (Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana).
- Efrida, R., & Utami, C. (2019). EVALUASI KINERJA DINDING PENGISI BATA MERAH DENGAN OPENINGS PADA STRUKTUR BETON BERTULANG AKIBAT BEBAN GEMPA KUAT. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 24-29.
- Enda, D. (2016). Kajian Eksperimental Perkuatan Agregat Kasar Styrofoam dengan Lapisan Coating pada Pembuatan Beton Ringan. *Inovtek Polbeng*, 6(2), 103-111.
- Faisal, A. (2019). Studi parametrik kinerja dinding pengisi bata merah pada struktur beton bertulang akibat beban gempa. *KUMPULAN JURNAL DOSEN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA*, 9(2).
- Frapanti, S. (2018). Analisa Portal yang Memperhitungkan Kekakuan Dinding Bata dari Beberapa Negara Pada Bangunan Bertingkat Dengan Pushover. *Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Gardjito, Edy, Agata Iwan Candra, and Yosef Cahyo. 2018. "Pengaruh Penambahan Batu Karang Sebagai Substitusi Agregat Halus Dalam pembuatan Paving Block." *UKaRsT* 2(1): 36.
- Gunawan, R. (2006). Analisis Sumber Daya Air Daerah Aliran Sungai Bah Bolon Sebagai sarana Pendukung Pengembangan Wilayah di Kabupaten Simalungun dan Asahan. *WAHANA HIJAU Jurnal Perencanaan & Pengembangan Wilayah*, 2(1).
- Hadi, S. (2019). Analisis kuat Tekan Beton Ringan Dengan Bahan Tambah Styrofoam. *Media Bina Ilmiah*, 14(5), 2533-2540.
- Hadipramana, J., & Syahputra, J. (2021). PERBANDINGAN SIMULASI GAYA AKSIAL DAN LATERAL PLAIN WALL BETON RINGAN ANTARA CAMPURAN STYROFOAM DENGAN LAPISAN COATING DAN ABU SEKAM PADI DENGAN FLY ASH. *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Hadipramana, J., Riza, F. V., Rahman, I. A., Loon, L. Y., Adnan, S. H., & Zaidi, A. M. A. (2016, November). Pozzolanitic characterization of waste Rice husk ash (RHA) from

- Muar, Malaysia. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 160, No. 1, p. 012066). IOP Publishing.
- Hadipramana, J., Samad, A. A. A., Zaidi, A. M. A., Mohammad, N., & Ali, N. (2013). Contribution of polypropylene fibre in improving strength of foamed concrete. In *Advanced Materials Research* (Vol. 626, pp. 762-768). Trans Tech Publications Ltd.
- Harahap, M., Siregar, G., & Riza, F. V. (2021). Mapping The Potential Of Village Agricultural Social Economic Improvement Efforts In Lubuk Kertang Village Kecamatan Berandan Barat Kabupaten Langkat. *JASc (Journal of Agribusiness Sciences)*, 4(1), 8-14.
- Jamaludin, S. B., Hadipramana, J., Wahid, M. F. M., Hussin, K., & Rahmat, A. (2013). Microstructure and interface analysis of glass particulate reinforced aluminum matrix composite. In *Advanced Materials Research* (Vol. 795, pp. 578-581). Trans Tech Publications Ltd.
- Majid, T. A., Wan, H. W., Zaini, S. S., Faisal, A., & Wong, Z. M. (2010). The effect of ground motion on non-linear performance of asymmetrical reinforced concrete frames. *Disaster Advances*, 3(4), 35-39.
- Nurmaidah, U. M. A. (2015). Penggunaan Agregat Halus Dengan Sumber Lokasi Berbeda Untuk Campuran Beton. *ARBITEK: Jurnal Teknik Sipil & Arsitektur*, 1(2).
- Nurzanah, W. (2021). SUMUR RESAPAN UNTUK PEMANENAN AIRHUJAN DI KECAMATAN MEDAN BELAWAN. *Ai Ulum*, 9(1), 1-7.
- Pane, Y., & Pasca, D. S. (2021). Analisa Semen Portland Dan Abu Batu Sebagai Filler Dengan Marshall Dan Durabilitas Aspal Hotmix (AC-WC). *SKYLANDSEA PROFESIONAL Jurnal Ekonomi, Bisnis dan Teknologi*, 1(2), 86-95.
- Pane, Y., Sembiring, D. S. P. S., & Suhelmi, S. (2021). PEMANFAATAN LIMBAH STEEL SLAG SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR DALAM PERANCANGAN MUTU BETON NORMAL. *AFoSJ-LAS (All Fields of Science J-LAS)*, 1(1), 07-13.
- Pane, Y., Zega, O., Zalukhu, H. P., & Buulolo, C. W. BANGUNAN HEMAT BIAYA DENGAN KREASI BATU BATA BERWARNA. *Educational Building Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 5(1JUNI), 22-25.
- Putera, T. A., & Pratama, A. D. (2021). PENGARUH PENAMBAHAN TEBAL PADA BASE PLATE DENGAN DAN TANPA PENGAKU (STIFFNERS) TERHADAP MOMEN-ROTASI. *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Putera, T. A., Efrida, R., & Pasaribu, H. M. (2018). DEFORMASI STRUKTUR BANGUNAN RUMAH TOKO DI MEDAN AKIBAT GEMPA BERULANG. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1).
- Rashidi, A., Majid, T. A., Fadzli, M. N., Faisal, A., & Noor, S. M. (2017, October). A Comprehensive Study on the Influence of Strength and Stiffness eccentricities to the On-plan Rotation of Asymmetric Structure. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1892, No. 1, p. 120013). AIP Publishing LLC.
- Riza, F. V., Lubis, D. S., & Manurung, F. V. B. (2021). ANALISIS MEKANIS BETON BUSA DENGAN KOMBINASI SERAT SABUT KELAPA SERTA BAHAN TAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK CANGKANG TELUR. *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Roslan, H. A., Adiyanto, M. I., Harith, N. S. H., Faisal, A., & Razak, S. M. S. A. (2021, February). Impact of seismic design on cost of structural materials for two storey hostel building in Sabah. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 682, No. 1, p. 012024). IOP Publishing.
- Samad, A. A. A., Hadipramana, J., Mohamad, N., Ali, A. Z. M., Ali, N., Inn, G. W., & Tee, K. F. (2018). Development of green concrete from agricultural and construction waste. In *Transition Towards 100% Renewable Energy* (pp. 399-410). Springer, Cham.
- Shetty, M.S. 2000. Concrete Technology-Theory And Practice. India: S. Chand Limited.
- Siahaan, N. S. M., Sumajouw, M. D., & Mondoringin, M. R. (2020). Penggunaan Styrofoam Sebagai Substitusi Parsial Agregat Kasar Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Ringan. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4).

- Siregar, Z. (2020). Kajian Penataan Jalur Pedestarian Jalan Kapten Mukhtar Basri Medan Sebagai Akses Utama Kampus UMSU. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 1(1), 46-55.
- SURYANTO, B., DALIMUNTHE, M., NAGAI, K., & MAEKAWA, K. SHEAR FATIGUE PERFORMANCE AND CRACK SURFACE OBSERVATIONS IN PVA-ECC BEAMS WITHOUT WEB REINFORCEMENT.
- Taib, A., Zahid, M. Z. A. M., Faisal, A., & Wan Ahmad, S. (2014). Axial load variations of irregular RC frames with setback under vertical earthquakes. *Journal of Civil Engineering Research*, 4(3A), 138-144.
- Tahara, R. M. K., Majid, T. A., Zaini, S. S., & Faisal, A. (2017, October). Effect of repeated earthquake on inelastic moment resisting concrete frame. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1892, No. 1, p. 020019). AIP Publishing LLC.
- Tarigan, A. P. M., & Nurzanah, W. (2016). The Shoreline Retreat and Spatial Analysis over the Coastal Water of Belawan. *INSIST*, 1(1), 65-69.
- Zahid, M. Z. A. M., Majid, T. A., & Faisal, A. (2012). Effect of repeated near field earthquake to the high-rise Rc building. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(10), 129-138.
- Zurkiyah, Z., & Hidayat, N. (2021). STUDI OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA ALAT BERAT PADA PEKERJAAN PONDASI DENGAN METODE TIME COST TRADE OFF PADA PROJECT PEMBANGUNAN TERMINAL LPG PRESSURIZED 4 X 3000 MT MEDAN-BELAWAN. *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).