

## KOMBINASI ABU DASAR BATU BARA DAN ABU VULKANIK SEBAGAI MATERIAL BETON

### *Combination of Bottom Ash and Volcanic Ash as Concrete Materials*

**Virgo Erlando Purba, Novdin Manoktong Sianturi, Deardo Samuel Saragih, Dermina Roni Santika Damanik**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Simalungun,  
Jalan Sisingamangaraja Barat, Bah Kabul, Siantar Sitalasari, Kota Pematang Siantar, 21142  
Surel: virgoepurba@gmail.com, snovdinm@gmail.com, deardosamuel@gmail.com,  
dermina.damanik@gmail.com

Diterima : 21 November 2020;

Disetujui : 19 Januari 2021

#### **Abstrak**

Beton membutuhkan campuran dari bahan yang optimal ditinjau dari penggunaan bahan yang minimum dengan kekuatan standar dan ekonomis dalam hal biaya total struktur beton. Material alternatif perlu dipertimbangkan, selain untuk mengurangi dampak negatif pada masyarakat juga dapat berdampak dalam hal peningkatan ekonomi masyarakat sekitar. Abu vulkanik berpotensi mengganti sebagian semen dan limbah bottom ash sebagai pengganti agregat halus, untuk itu perlu penelitian seberapa besar jumlahnya dan seberapa lama waktu yang diperlukan dalam menghasilkan kekuatan tekan yang mendekati beton normal tanpa bahan tambahan. Metode penelitian dilakukan dengan eksperimen di laboratorium menggunakan benda uji beton dengan campuran 5-12,5% kombinasi abu vulkanik dan bottom ash. Campuran ini dicetak membentuk kubus 15 x 15 x 15 cm dan diuji menggunakan alat kekuatan tekan berdasarkan acuan SNI 03-2847-2002. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi campuran AV-BA maksimum 10% dapat meningkatkan kekuatan tekan beton pada umur 28 hari, namun kekuatan tekan beton dengan campuran AV-BA di atas 10% lebih kecil daripada kekuatan tekan beton tanpa AV-BA. Abu vulkanik dan bottom ash dapat digunakan sebagai campuran beton dengan batas penggunaan maksimum sebesar 10% AV-BA untuk mendapatkan mutu beton sedang.

**Kata Kunci:** Beton, abu vulkanik, bottom ash, kekuatan tekan beton, umur beton

#### **Abstract**

The concrete requires an optimal mixture of materials in terms of the minimum use of materials with standard strength and is economical in terms of the total cost of the concrete structure. Alternative materials need to be considered, in addition to reducing the negative impact on society, it can also have an impact on improving the economy of the surrounding community. Volcanic ash has the potential to partially replace cement and bottom ash waste as a substitute for some of the fine aggregate. Therefore, it is necessary to study the amount and how long it takes to produce a compressive strength that is close to normal concrete without additional materials. The research method was carried out by experiment in the laboratory using concrete specimens with a mixture of 5-12.5% combination of volcanic ash and bottom ash. This mixture is molded to form a 15 x 15 x 15 cm cube and tested using a compressive strength device based on the SNI 03-2847-2002 reference. The results showed that the combination of AV-BA mixture with a maximum of 10% can increase the compressive strength of concrete at the age of 28 days, but the compressive strength of concrete with AV-BA mixture above 10% is smaller than the compressive strength of concrete without AV-BA. Volcanic ash and bottom ash can be used as a concrete mixture with a maximum usage limit of 10% AV-BA to obtain moderate concrete quality.

**Keywords:** Concrete, volcanic ash, bottom ash, compressive strength, age of concrete

#### **PENDAHULUAN**

Beton merupakan bahan campuran material semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah jika diperlukan. Pengerasan beton akan segera terjadi karena adanya peristiwa ikatan antara air dan semen, dimana massa beton tersebut akan bertambah kekuatan seiring dengan bertambahnya umur beton.

Proporsi campuran beton seharusnya menghasilkan suatu proses campuran bahan yang optimal dan kekuatan maksimum. Menurut Mulyono (2003), bahan yang optimal diartikan sebagai penggunaan bahan yang minimum dengan kriteria standar dan ekonomis dalam hal biaya total dari suatu struktur beton. Bahan-bahan ekonomis dapat diperoleh

melalui penggunaan bahan alternatif dengan tetap memperhatikan kekuatan standar dari beton. Bahan-bahan tambahan yang dapat mengganti fungsi semen sebagai pengikat menggunakan abu vulkanik, sedangkan agregat halus atau pasir sebagai bahan pengisi dapat diganti dengan abu dasar batu bara (*bottom ash*).

Penggunaan abu vulkanik erupsi Gunung Sinabung sebagai pengganti sebagian semen dengan campuran di atas 5% terhadap berat semen dapat menghasilkan beton struktural (Sudarmadji dan Hamdi 2014). Sedangkan abu vulkanik Gunung Sinabung dapat meningkatkan kekuatan tekan beton pada campuran 2-4% (Susanti, Tambunan, et al. 2018)

Abu vulkanik Merapi dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran dalam pembuatan bahan-bahan konstruksi seperti beton (Kurniawan, Sebayang, dan Muljadi 2011). Nilai kekuatan tekan beton tertinggi yang didapatkan akibat penggantian sebagian semen dengan abu vulkanik 10% adalah 29,65 MPa lebih tinggi 5,46% daripada kekuatan tekan beton normal yang hanya 28,115 MPa (Ariyani dan Luser 2013). Peningkatan kekuatan tekan beton dengan penambahan abu vulkanik disebabkan oleh butiran abu vulkanik halus yang mengisi rongga-rongga butiran agregat sehingga dapat memperkecil rongga dan menambah kekuatan tekan beton. Abu vulkanik memiliki berat jenis yang lebih kecil dibandingkan dengan semen (Sudarmadji dan Hamdi 2014). Dengan demikian beton yang dihasilkan akan semakin ringan, hal ini akan semakin baik untuk konstruksi beton. Abu vulkanik mengandung silika yang cukup tinggi, sifat ini dapat menyerupai karakteristik semen untuk digunakan sebagai campuran beton. Karakteristik abu vulkanik menunjukkan kandungan SiO<sub>2</sub> sekitar 40%, berat jenis sekitar 3,04, dan berat isi sebesar 1,649 t/m<sup>3</sup> (Olawuyi dan Olusola 2010).

Olawuyi dan Olusola (Olawuyi dan Olusola 2010) menggunakan campuran beton dengan 10%, 20%, dan 30% abu vulkanik. Nilai kekuatan tekan beton tanpa abu vulkanik pada umur beton 28 hari didapatkan sebesar 100 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan kekuatan tekan beton dengan abu vulkanik di antaranya 87 N/mm<sup>2</sup> untuk 10% abu vulkanik, 79 N/mm<sup>2</sup> untuk abu vulkanik 20%, dan 72 N/mm<sup>2</sup> untuk 30% abu vulkanik. Kekuatan tekan beton campuran abu vulkanik di atas 10% mengalami penurunan dibandingkan beton tanpa abu vulkanik.

Material lainnya yang dapat dimanfaatkan dari limbah vulkanik adalah pasir lahar dingin. Pasir lahar dingin Merapi memperlihatkan kekuatan tekan beton yang mendekati sama dengan pasir sungai (Bale 2011). Hasil uji kekuatan beton dapat melampaui

beton dengan kekuatan tekan 15 MPa. Material abu vulkanik memiliki karakteristik yang menyerupai semen, sehingga material ini dapat berpotensi mengganti sebagian semen untuk campuran beton (Bayuaji et al. 2011).

Penggunaan 10% abu vulkanik sebagai pengganti semen menunjukkan nilai kekuatan tekan beton mendekati beton normal tanpa abu vulkanik pada umur beton 28 hari (Olawuyi dan Olusola 2010). Limbah vulkanik berupa pasir lahar dingin mempunyai performa yang baik pada umur beton 7 hari maupun 28 hari (Bale 2011). Pasir lahar dingin dari limbah vulkanik untuk campuran beton dapat menghasilkan nilai kekuatan tekan di atas 15 MPa sebagai syarat minimum nilai kekuatan tekan beton (Bale 2011).

Pemanfaatan limbah vulkanik dapat menguntungkan jika ditinjau dari dampak lingkungan maupun kemanfaatannya sebagai material alternatif untuk bahan bangunan. Hal ini dapat memicu motivasi kepada masyarakat untuk berupaya mengumpulkan limbah ini, karena memiliki kelebihan dalam hal sifat teknis dan komersial (Bale 2011). Menurut Nainggolan et al. (2019), erupsi Gunung Sinabung memberikan dampak yang buruk pada masyarakat di antaranya mengakibatkan memburuknya fasilitas umum, berkurangnya akses masyarakat terhadap air bersih, terganggunya akses masyarakat terhadap kebutuhan listrik, layanan kesehatan memburuk, dan terkendalanya anak-anak dalam melanjutkan pendidikan.

Material alternatif lainnya menurut Sivakumar dan Kameshwari (2015), sebagai bahan campuran beton dapat dikembangkan dari limbah *bottom ash*. Agregat halus dapat diganti dengan *bottom ash* untuk campuran beton, namun dengan penggantian di atas 10% pengurangan kekuatan tekan beton cukup signifikan (Sivakumar dan Kameshwari 2015). Nilai kekuatan tekan beton dipengaruhi oleh material yang digunakan, baik kualitas semen, maupun agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir).

Agregat halus dapat digantikan dengan *bottom ash* untuk campuran beton pada jumlah tertentu. Hasil yang baik didapatkan bahwa dengan persentase sekitar 5% nilai kekuatan tekan beton hampir sama dengan 0%, namun untuk penggantian material sampai 30% penurunan kekuatan tekan cukup signifikan. Jumlah *bottom ash* untuk menggantikan sebagian material pasir dibatasi untuk hasil yang lebih baik. Nilai kekuatan tekan beton dengan campuran *bottom ash* mendekati sama dengan beton normal pada jumlah *bottom ash* di bawah 10% (Susanti, Hadi, et al. 2018)

Sifat utama beton adalah memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik. Beberapa jenis beton dibagi berdasarkan kekuatan tekan, di antaranya beton sederhana dengan kekuatan tekan hingga 10 MPa, beton normal dengan kekuatan tekan berkisar 15-30 MPa, dan beton prategang dengan kekuatan tekan berkisar 30-40 MPa (Tjokrodinuljo 2007).

Struktur beton memerlukan biaya yang cukup tinggi dan memberikan berat beton yang besar, sehingga akan mempengaruhi sistem perancangan penulangan yang cukup besar, untuk itu dicari alternatif lain dengan mengganti sebagian material beton dengan bahan yang ringan seperti abu vulkanik sebagai pengganti semen dan abu dasar batubara (*bottom ash*) sebagai pengganti agregat halus, sehingga dapat mengurangi berat beton dengan tetap mempertahankan kekuatan tekannya, dan dapat mengurangi jumlah tulangan yang diperlukan.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengujian kekuatan tekan beton dengan pemanfaatan limbah abu vulkanik sebagai pengganti sebagian semen dan *bottom ash* sebagai pengganti sebagian agregat halus untuk mengetahui pengaruh terhadap kekuatan tekan pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari.

Beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Proses pengerasan terjadi karena adanya reaksi kimiawi antara air dengan semen yang berlangsung dari waktu ke waktu. Hal ini menyebabkan kekerasan beton terus bertambah sejalan dengan bertambahnya waktu. Beton normal mempunyai berat satuan minimum sebesar 2200 kg/m<sup>3</sup> dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah. Mutu beton dan penggunaannya dikelompokkan seperti pada Tabel 1 Pd T-07-2005-B (DPU 2000). Hal ini dapat digunakan sebagai acuan penggunaan beton sesuai dengan mutunya.

Menurut SNI 03-2847-2002, semua bahan beton harus diaduk secara seksama dan harus dituangkan seluruhnya sebelum pencampuran diisi kembali (BSN 2002). Material-material beton perlu dicampur secara menyeluruh sampai semua bahan pembentuknya terdistribusi, agar beton mempunyai kualitas yang baik dan seragam.

Metode uji untuk keseragaman pencampuran sangat tergantung pada banyak faktor termasuk ukuran adukan, kekakuan adukan, ukuran dan gradasi agregat, serta efisiensi pencampur. Waktu pencampuran yang terlalu lama harus dihindari untuk menjaga agar agregat tidak terkikis.

**Tabel 1** Mutu Beton dan Penggunaan (Pd T-07-2005-B Departemen Pekerjaan Umum)

Jenis beton	f <sub>c</sub> (MPa)	Uraian
Mutu tinggi	35-65	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya
Mutu sedang	20-35	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb, beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan
Mutu rendah	15-20	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu
	10-15	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton

Campuran percobaan harus dibuat dan diuji dengan rancangan campuran serta bahan sesuai dengan SNI 03-2834-2000 (BSN 2000). Campuran beton memenuhi ketentuan kelecakan yang dinyatakan dengan nilai *slump*. Nilai *slump* untuk keperluan berbagai pekerjaan beton dapat menggunakan Tabel 2 (Pd T-07-2005-B Departemen Pekerjaan Umum).

**Tabel 2** Nilai *Slump* untuk Pekerjaan Beton

No.	Uraian	<i>Slump</i>
1.	Dinding, pondasi pelat dan pondasi telapak bertulang	5,0–12,5
2.	Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi bawah tanah	2,5–9,0
3.	Pelat, balok, kolom dan dinding	7,5–15,0
4.	Perkerasan jalan	5,0–7,5
5.	Pembetonan massal	2,5–7,5

Susanti, Tambunan, et al. (2018) menyatakan bahwa penggunaan abu vulkanik pada campuran beton dengan umur 28 hari didapat nilai kekuatan tekan yang lebih tinggi dari beton normal dengan persentase campuran di bawah 5%. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kekuatan beton normal sebesar 21,07 MPa, sedangkan beton dengan 2% dan 4% abu vulkanik menghasilkan kekuatan beton masing-masing 23,60 MPa dan 21,80 MPa. Kekuatan beton dengan 6% dan 8% abu vulkanik didapatkan nilai yang lebih daripada beton normal tanpa campuran abu vulkanik. Zeyad, Khan, dan Tayeh (2020) menggunakan abu vulkanik sebagai pengganti sebagian semen dengan penambahan polypropylene fiber. Kekuatan tekan maksimum didapat pada campuran beton dengan abu vulkanik 10% dan polypropylene fiber 0,20%.

Tata cara pengujian mengacu pada SNI 03-2847-2002. Peraturan pengujian bahan dijelaskan pada pasal 5, Semen harus memenuhi ketentuan di SNI 15-2049-1994 untuk semen portland (BSN 1994). Agregat untuk beton harus memenuhi spesifikasi agregat seperti yang tercantum dalam ASTM C 33-03 (ASTM 2003). Ukuran maksimum nominal agregat kasar tidak melebihi 1/5 jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan perusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merusak beton atau tulangan.

## METODE

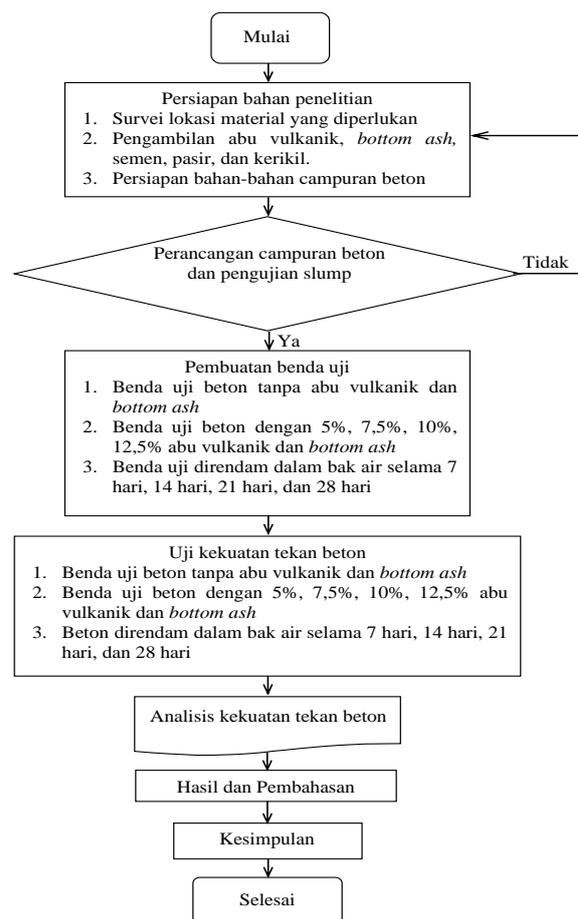
Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari abu vulkanik dari Gunung Sinabung dan limbah *bottom ash* dari Kawasan Industri Medan (KIM). Bahan-bahan penelitian ini diambil pada tanggal 14-19 Oktober 2019. Abu vulkanik mengganti sebagian semen, sedangkan *bottom ash* mengganti sebagian agregat halus. Material lainnya seperti semen Tipe I (*Ordinary Portland Cement*), pasir diambil dari aliran Sungai Patumbak, dan kerikil berupa batu pecah diperoleh dari Patumbak Pasar II, Sumatera Utara.

Pekerjaan awal dalam penelitian ini berupa persiapan bahan-bahan penelitian. Sebelum pembuatan benda uji diperlukan rancangan campuran beton. Kelecekan rancangan campuran beton dapat diketahui dari pengujian *slump*. Jumlah semen yang digunakan dikurangi dan diganti dengan abu vulkanik masing-masing 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5%. Hal yang sama dilakukan pada jumlah agregat halus berupa pasir yang diganti sebagian dengan *bottom ash* sebanyak 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5%. Pemilihan persentase campuran sampai 12,5% didasarkan pada nilai kekuatan tekan beton yang lebih baik pada campuran abu vulkanik Gunung Sinabung di bawah 5% dan *bottom ash* di bawah 10% (Susanti et al., 2018a, 2018b). Selain itu kekuatan tekan beton dengan abu vulkanik di atas 10% lebih kecil daripada kekuatan tekan beton tanpa abu vulkanik (Olawuyi dan Olusola 2010). Menurut (Olawuyi dan Olusola 2010). Menurut Zeyad, Khan, dan Tayeh (Zeyad, Khan, dan Tayeh 2020), batas penggunaan abu vulkanik sebagai pengganti semen adalah 10%.

Benda uji dicetak menggunakan cetakan berbentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm. Benda uji ini direndam dan dibiarkan selama 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari sebelum diuji dengan kekuatan tekan beton. Setiap variasi benda uji terdiri dari 3 sampel uji sesuai penelitian (Susanti, Tambunan, et al. 2018). Sehingga jumlah benda uji yang diperlukan

masing-masing umur beton sebanyak 3 x 4 benda uji x 5 variasi campuran dengan total benda uji 60 benda uji termasuk beton normal tanpa pencampuran abu vulkanik dan *bottom ash*.

Pengujian kekuatan tekan beton dilakukan pada setiap benda uji beton tanpa dan dengan campuran abu vulkanik dan *bottom ash*. Kekuatan tekan beton pada masing-masing umur merupakan nilai rata-rata dari 3 (tiga) benda uji. Berdasarkan nilai ini dibuat grafik hubungan antara umur beton dengan kekuatan beton dan hubungan antara persentase campuran abu vulkanik - *bottom ash* dengan nilai kekuatan tekan beton. Tahapan metode penelitian dapat dilihat dalam diagram alir penelitian seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekuatan tekan beton merupakan beban per satuan luas yang menyebabkan beton mengalami kegagalan, oleh karena itu perlu dicari nilai kekuatan tekan beton agar sesuai dengan kekuatan struktur yang diperlukan. Hal ini diketahui dari serangkaian pengujian kekuatan tekan beton berbentuk kubus

atau silinder di laboratorium. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm.

Abu vulkanik didapatkan dari erupsi Gunung Sinabung Kabupaten Karo dan *bottom ash* diperoleh dari Kawasan Industri Medan (Gambar 2). Material pasir diambil dari aliran Sungai Patumbak, dan kerikil berupa batu pecah diperoleh dari Patumbak Pasar II, Sumatera Utara (Gambar 3).



(a)



(b)

**Gambar 2** Persiapan Material (a) Abu Vulkanik (b) *Bottom Ash*

Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm (Gambar 4). Beban tekan beton pada benda uji diperoleh dari nilai kekuatan tekan rata-rata, yang diambil pada umur benda uji 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Selanjutnya hasil pengujian dikelompokkan berdasarkan umur dan persentase campuran abu vulkanik – *bottom ash*.

Pengujian menggunakan alat kekuatan tekan beton seperti pada Gambar 5, dan salah satu pola kegagalan benda uji ditunjukkan pada Gambar 6. Pembacaan jarum beban pada alat uji semakin meningkat sampai batas kekuatan tekan beton benda uji. Kekuatan tekan beton didapatkan saat terjadi keruntuhan pada benda uji.



(a)



(b)

**Gambar 3** Persiapan Material (a) Pasir Sungai (b) Kerikil



(a)



(b)

**Gambar 4** Pembuatan Benda Uji (a) Proses Cetak (b) Benda Uji



Gambar 5 Pengujian Benda Uji



Gambar 6 Pola Kegagalan Benda Uji

Hasil pengujian *slump* pada campuran beton dengan 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% abu vulkanik – *bottom ash* diperlihatkan pada Gambar 7. Nilai *slump* campuran beton tanpa abu vulkanik dan *bottom ash* sebesar 10 cm, sedangkan nilai *slump* campuran beton dengan

abu vulkanik dan *bottom ash* berturut-turut didapatkan 12 cm, 9,5 cm, 7,5 cm, dan 3,5 cm untuk campuran 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% abu vulkanik – *bottom ash*. Nilai *slump* campuran beton semakin kecil dengan semakin tingginya persentase material abu vulkanik dan *bottom ash*.

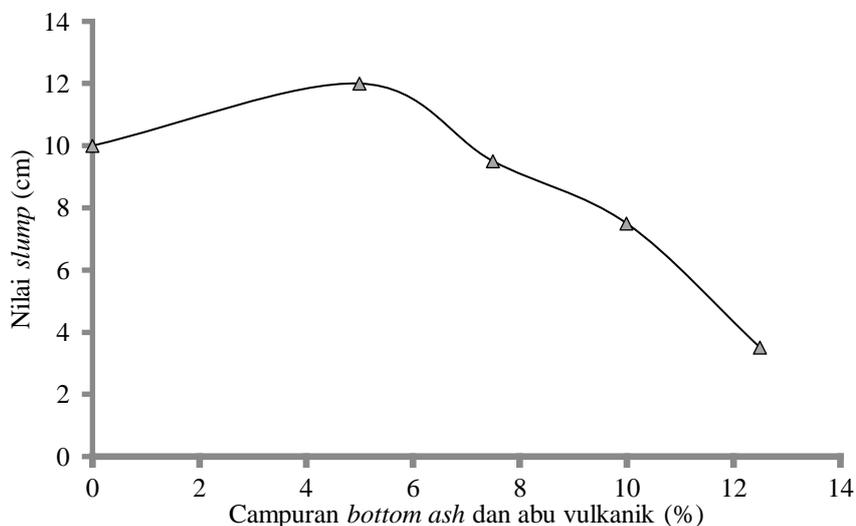
Berdasarkan Tabel 2, nilai *slump* yang didapatkan dari campuran beton dan 5-7,5% abu vulkanik – *bottom ash* dapat digunakan untuk pekerjaan dinding, pondasi pelat, pondasi telapak bertulang, pelat, balok, dan kolom. Campuran beton dan 10% abu vulkanik – *bottom ash* dapat digunakan untuk semua jenis pekerjaan, sedangkan campuran dan 12,5% abu vulkanik – *bottom ash* hanya dapat digunakan untuk pondasi telapak tidak bertulang dan pembetonan massal.

### Kekuatan Tekan Beton Normal

Hasil uji kubus pada beton tanpa campuran abu vulkanik dan *bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 3. Jumlah benda uji setiap umur beton terdiri dari 3 (tiga) sampel. Nilai kekuatan tekan beton pada umur 7 hari sebesar 18,35 MPa, untuk umur 14 hari sebesar 19,46 MPa, untuk umur 21 hari sebesar 21,94 MPa, dan untuk umur 28 hari sebesar 23,31 MPa.

Tabel 3 Nilai Kekuatan Tekan Beton Normal

No. Uji	Kekuatan tekan beton (MPa)			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
1	17,49	19,71	21,19	24,18
2	18,23	17,86	23,06	22,30
3	19,34	20,82	21,56	23,44
Rata-rata	18,35	19,46	21,94	23,31



Gambar 7 Nilai Slump Campuran Beton

Kekuatan tekan beton dari setiap benda uji bervariasi satu sama lainnya, namun jika dirata-ratakan terlihat bahwa kekuatan tekan beton semakin tinggi pada umur beton yang lebih tinggi. Nilai kekuatan tekan beton berada pada range 18-24 MPa. Berdasarkan Tabel 1, mutu beton ini termasuk jenis beton dengan mutu rendah ke mutu sedang. Beton pada umur 28 hari tergolong sebagai beton dengan mutu sedang.

Nilai rata-rata kekuatan tekan beton mengalami peningkatan seiring dengan penambahan umur beton seperti terlihat pada Gambar 8. Nilai kekuatan tekan pada umur 14 hari sampai 21 hari mengalami peningkatan yang signifikan sedangkan nilai kekuatan tekan beton di atas 21 hari memperlihatkan nilai yang lebih stabil.

Beton tanpa material tambahan atau material pengganti lainnya sangat bergantung dengan material-material yang umum digunakan pada campuran beton seperti semen, pasir, dan kerikil. Hal ini kurang menguntungkan apabila ketersediaan material yang diperlukan dalam jumlah terbatas atau material yang ada tidak memenuhi standar spesifikasi yang disyaratkan, oleh karena itu perlu material pengganti sebagian semen dengan abu vulkanik dan pengganti sebagian pasir dengan *bottom ash*.

Beton normal yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat terlihat begitu cepat terikat dengan material lainnya sehingga pada umur yang lebih pendek, kekuatan tekan beton memperlihatkan nilai yang stabil.

Ikatan abu vulkanik sebagai bahan pengikat perlu ditelaah lebih dalam untuk melihat seberapa lama

bisa menghasilkan nilai kekuatan tekan beton yang stabil, demikian juga apabila menggunakan material limbah *bottom ash* sebagai pengganti sebagian agregat halus.

**Kekuatan Tekan Beton Campuran**

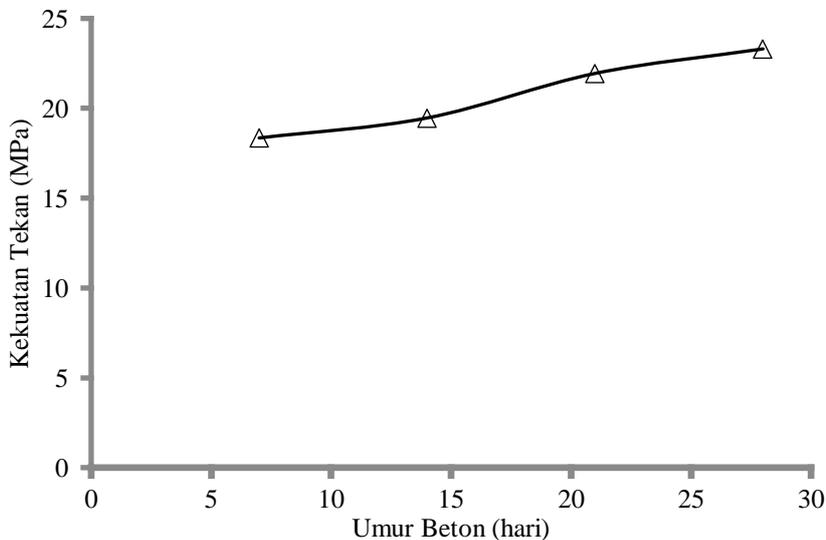
Hasil uji kubus pada beton dengan campuran abu vulkanik (AV) dan *bottom ash* (BA) dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai kekuatan tekan beton untuk campuran kombinasi 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% abu vulkanik sebagai pengganti sebagian semen dan 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% *bottom ash* pengganti sebagian pasir.

Nilai kekuatan tekan beton pada umumnya semakin kecil dengan semakin banyaknya jumlah campuran abu vulkanik dan *bottom ash*, kecuali pada umur beton 21 hari terjadi peningkatan dari 25,18 MPa pada campuran 5% AV-BA menjadi 25,57 MPa pada campuran 7,5% AV-BA.

**Tabel 4** Nilai Kekuatan Tekan Beton Kombinasi Abu Vulkanik dan *Bottom Ash*

Umur beton (hari)	Kekuatan tekan (MPa)			
	5% AV-BA	7,5% AV-BA	10% AV-BA	12,5% AV-BA
7	25,97	20,37	20,13	18,28
14	26,21	21,97	20,71	18,61
21	25,18	25,57	22,08	20,53
28	28,67	27,50	26,35	22,85
Rata-rata	26,51	23,85	22,31	20,07

Umur beton 28 hari memperlihatkan nilai kekuatan tekan beton kombinasi abu vulkanik dan *bottom ash* dengan persentase 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% berturut-turut sebesar 28,67 MPa, 27,5 MPa, 26,35



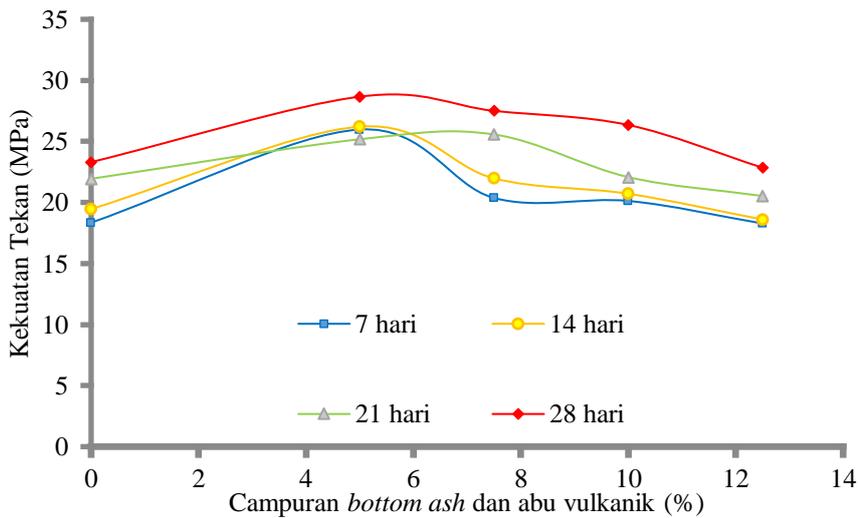
**Gambar 8** Kekuatan Tekan Beton Normal

MPa, dan 22,07 MPa. Nilai kekuatan tekan beton pada umur 28 hari semakin kecil dengan semakin meningkatnya campuran abu vulkanik dan *bottom ash*, namun masih di atas 20 MPa sebagai batas minimum beton dengan mutu sedang. Jenis beton yang dihasilkan pada umur 28 hari tergolong sebagai beton mutu sedang yang dapat digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb, beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan seperti yang tertera pada Tabel 1.

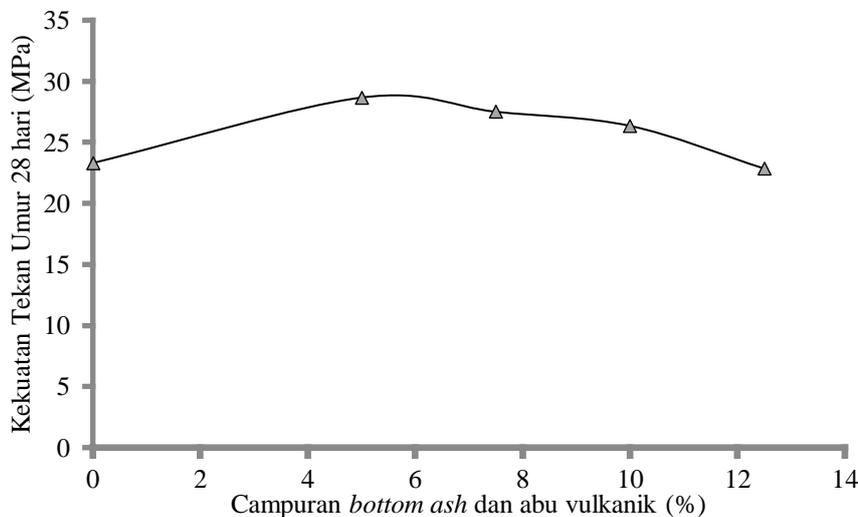
Hubungan persentase campuran abu vulkanik dan *bottom ash* dengan kekuatan beton ditunjukkan pada Gambar 9. Nilai kekuatan tekan beton dengan campuran abu vulkanik dan *bottom ash* maksimum

10% untuk semua umur beton terlihat lebih tinggi daripada beton tanpa campuran abu vulkanik dan *bottom ash*.

Nilai kekuatan beton untuk campuran di atas 10 % AV-BA terlihat lebih kecil daripada nilai kekuatan tekan beton tanpa campuran abu vulkanik dan *bottom ash*. Hal ini menunjukkan bahwa batas maksimum penggunaan campuran abu vulkanik dan *bottom ash* adalah sebesar 10%. Hal yang sama didapatkan pada penelitian (Olawuyi dan Olusola 2010), dimana penambahan abu vulkanik di atas 10% menunjukkan penurunan nilai kekuatan tekan beton. Demikian juga hasil penelitian Susanti, Hadi et al. (Susanti, Hadi, et al. 2018), penambahan *bottom ash*



**Gambar 9** Pengaruh Campuran Abu Vulkanik dan *Bottom Ash* pada Kekuatan Tekan Beton



**Gambar 10** Kekuatan Tekan pada umur 28 hari untuk Setiap Campuran

di atas 10% menunjukkan penurunan nilai kekuatan tekan beton.

Kekuatan tekan rata-rata dari umur beton 28 hari pada setiap campuran abu vulkanik dan *bottom ash* dapat dilihat pada Gambar 10. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi 5% AV-BA mengalami peningkatan kekuatan tekan beton dari 23,31 MPa menjadi 28,67 MPa atau meningkat sekitar 23%, sedangkan peningkatan untuk 7,5% AV-BA dan 10% AV-BA masing-masing 18% dan 13%. Nilai kekuatan tekan beton untuk 12,5% AV-BA tidak mengalami peningkatan. Nilai kekuatan tekan beton pada umur 28 hari dan peningkatannya setelah penambahan abu vulkanik dan *bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 5. Kekuatan tekan beton meningkat maksimum untuk campuran 5% AV-BA, hal ini dapat disebabkan bahwa kemampuan abu vulkanik yang baik dalam hal menggantikan sebagian semen sebagai bahan perekat hidrolis didapatkan pada 5% AV-BA. Penambahan jumlah AV-BA di atas 5% memperlihatkan daya lekat abu vulkanik semakin berkurang, sehingga kekuatan tekan beton menjadi berkurang. Hal ini membuktikan bahwa kemampuan lekat abu vulkanik tidak dapat disamakan dengan bahan semen.

**Tabel 5** Kekuatan Tekan Rata-rata pada Umur 28 hari

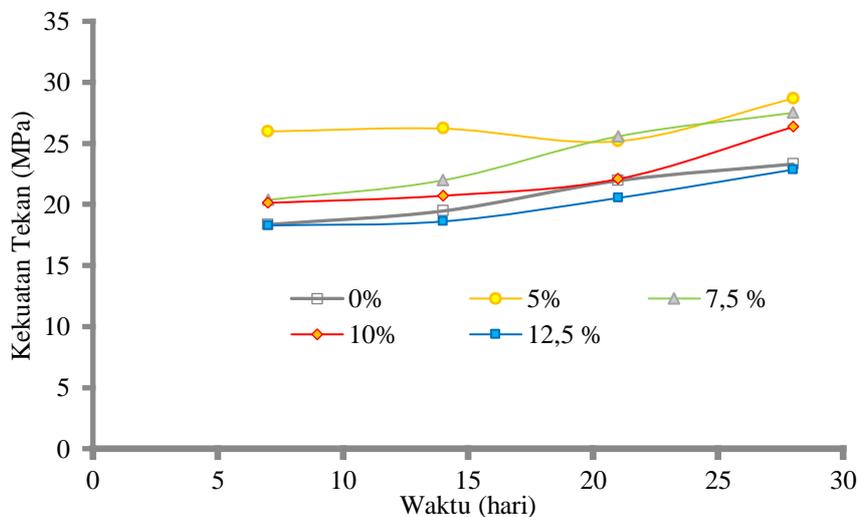
Campuran AV-BA	0%	5%	7,5%	10%	12,5%
Kekuatan tekan (MPa)	23,31	28,67	27,50	26,35	22,85
Peningkatan kekuatan tekan (%)	-	23	18	13	-2

**Pengaruh Umur Beton terhadap Nilai Kekuatan Tekan**

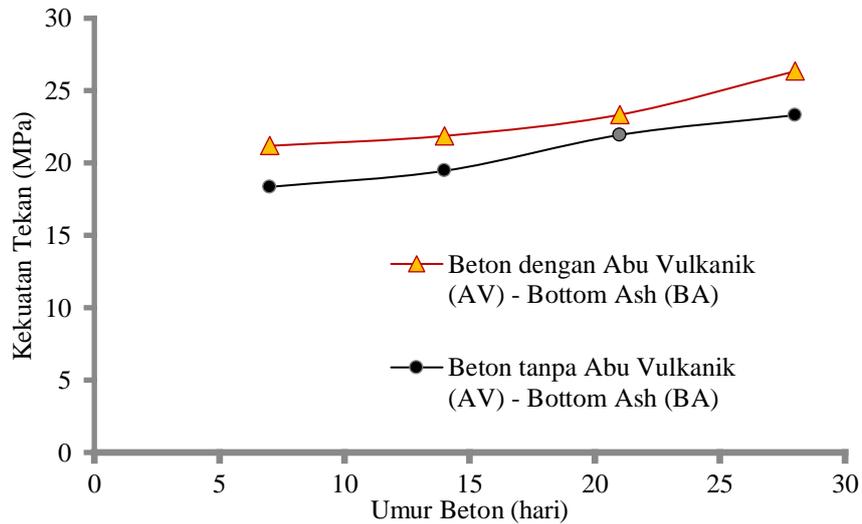
Nilai kekuatan tekan beton pada setiap penambahan umur beton dapat dilihat pada Gambar 11. Umumnya nilai kekuatan tekan beton meningkat pada setiap peningkatan umur beton. Peningkatan yang signifikan terjadi pada umur beton 21 hari dan 28 hari. Nilai kekuatan tekan beton pada umur 14 hari tidak jauh berbeda dengan kekuatan tekan beton pada umur 7 hari. Nilai kekuatan tekan beton pada campuran 5-10% AV-BA lebih tinggi daripada kekuatan tekan beton tanpa abu vulkanik dan *bottom ash* untuk semua umur beton.

Campuran 5-10% AV-BA memperlihatkan kekuatan tekan beton yang lebih baik pada umur beton 28 hari. Hal ini ditunjukkan dari peningkatan kekuatan tekan beton sebesar 13-23%. Dengan demikian, kekuatan tekan beton yang stabil didapatkan pada umur beton 28 hari. Hal ini dapat disebabkan karena ikatan abu vulkanik terhadap material lainnya membutuhkan waktu yang lebih lama daripada semen untuk mencapai kekuatan tekan beton maksimum.

Kekuatan tekan beton terlihat mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan umur beton, hal ini sama dengan hasil penelitian (Olawuyi dan Olusola 2010). Nilai kekuatan tekan beton yang didapatkan dari campuran kombinasi abu vulkanik dan *bottom ash* menunjukkan nilai di atas 20 MPa untuk campuran abu vulkanik dan *bottom ash* maksimum 10% tergolong sebagai beton dengan mutu sedang. Nilai kekuatan beton ini lebih tinggi dari syarat minimum nilai kekuatan tekan beton sebesar 15 MPa (Bale 2011). Nilai kekuatan tekan beton dari



**Gambar 11** Pengaruh Umur Beton terhadap Kekuatan Tekan Beton



**Gambar 12** Kekuatan Tekan Rata-rata untuk Setiap Umur Beton

campuran ini dikategorikan sebagai beton normal dengan kekuatan tekan 15-30 MPa (Tjokrodimuljo 2007). Berdasarkan Tabel 1, khusus untuk umur beton 28 hari, maka nilai kekuatan tekan beton campuran abu vulkanik dan *bottom ash* dari hasil penelitian ini termasuk dalam beton dengan mutu sedang.

Pengaruh abu vulkanik dan *bottom ash* terhadap nilai kekuatan tekan beton dapat dilihat pada Gambar 12. Nilai kekuatan beton rata-rata dari campuran 5-12,5% AV-BA digunakan sebagai pendekatan untuk melihat pengaruh penggunaan abu vulkanik dan *bottom ash* terhadap kekuatan beton. Nilai rata-rata kekuatan tekan beton dengan abu vulkanik dan *bottom ash* masih lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tekan beton tanpa abu vulkanik dan *bottom ash* untuk semua umur beton yang diuji pada umur 7-28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan abu vulkanik dan *bottom ash* cukup efektif dalam meningkatkan nilai kekuatan tekan beton.

Perbedaan nilai rata-rata kekuatan tekan beton dengan abu vulkanik dan *bottom ash* dengan kekuatan tekan beton tanpa abu vulkanik dan *bottom ash* ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6** Kekuatan Tekan Rata-rata Setiap Umur Beton

Umur Beton		7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
Kekuatan tekan (MPa)	Tanpa AV-BA	18,35	19,46	21,94	23,31
	Dengan AV-BA	21,19	21,88	23,34	26,34
Peningkatan kekuatan tekan (%)		15	12	6	13

Peningkatan nilai kekuatan tekan untuk setiap umur beton akibat penggunaan abu vulkanik dan *bottom ash* didapatkan sebesar 6-15% dan rata-rata peningkatan sebesar 11,5%. Dengan demikian penggunaan abu vulkanik dan *bottom ash* memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai kekuatan tekan beton.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dapat ditulis ulang berdasarkan penjelasan-penjelasan dan kajian-kajian yang akan dilengkapi pada bab sebelumnya yaitu hasil pengujian.

Kombinasi campuran abu vulkanik sebagai pengganti sebagian semen dan *bottom ash* sebagai pengganti sebagian agregat halus menunjukkan peningkatan nilai kekuatan tekan sampai pada campuran 5% AV-BA. Campuran ini memberikan nilai yang lebih tinggi dari beton tanpa campuran AV-BA pada semua benda uji beton yang diteliti.

Peningkatan nilai kekuatan tekan beton pada umur beton 28 hari masing-masing untuk 5% AV-BA sebesar 23%, untuk 7,5% AV-BA sebesar 18%, dan untuk 10% AV-BA sebesar 13%. Jenis beton hasil pengujian dikategorikan sebagai beton mutu sedang dengan kekuatan tekan lebih besar dari 20 MPa. Beton dengan 10% AV-BA dapat digunakan sebagai beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb, beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.

Beton dengan campuran abu vulkanik dan *bottom ash* memperlihatkan kecenderungan peningkatan nilai kekuatan tekan seiring dengan umur beton, terutama

untuk campuran 5% AV-BA. Ikatan antar material beton semakin baik pada umur yang lebih tinggi, sehingga nilai kekuatan tekannya juga semakin tinggi.

Kombinasi campuran abu vulkanik sebagai pengganti semen dan *bottom ash* sebagai pengganti sebagian agregat halus dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan tekan beton dengan batas penggunaan maksimum sebesar 10% AV-BA untuk mendapatkan mutu beton sedang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini, terutama kepada Asisten dan Laboran di Laboratorium Teknologi Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Simalungan.

## DAFTAR PUSTAKA

Ariyani, N., dan D. Luser. 2013. "Pengaruh Abu Vulkanik Gunung Merapi Terhadap Kuat Tekan Beton." *Majalah Ilmiah UKARIM* 18 (1): 35-44.

ASTM. 2003. "ASTM C33 - 03 Standard Specification for Concrete Aggregates."

Badan Standarisasi Nasional. 1994. "SNI 15-2049-1994 tentang Semen Portland."

———. 2000. "SNI 03-2834 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal."

———. 2002. "SNI 03-2847- 2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung."

Bale, Helmy Akbar. 2011. "Analisis Pasir Lahar Dingin dari Sungai Opak, Kuning dan Boyong untuk Beton dengan Pengerjaan Konvensional." In *Seminar Nasional-1 BMPTTSSI - KoNTekS* 5, 91-96. Medan: BMPTTSSI.

Bayuaji, Ridho, M. Sigit Darmawan, Ibnu Pudji, dan Nur Ahmad Husin. 2011. "Characterization of Pozzolanicity Bromo's Volcanic Ash." In *Proceedings of international seminar on Applied Technology, Science, and Arts*, 218-23. Surabaya: APTEC3.

Departemen Pekerjaan Umum. 2000. "Pd T-07-2005-B: Pelaksanaan Pekerjaan Beton untuk Jalan dan Jembatan." Pedoman, Departemen Pekerjaan Umum.

Kurniawan, Candra, Perdamean Sebayang, dan Muljadi Muljadi. 2011. "Pembuatan Beton High-Strength Berbasis Mikrosilika dari Abu Vulkanik Gunung Merapi." *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH* 29 (1): 15-21.

Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.

Nainggolan, Hotden Leonardo. 2019. "Dampak Erupsi Sinabung Terhadap Kondisi Sosial Ekonomi Petani Hortikultura Di Kecamatan Simpang Empat Kabupaten Karo." *Sosiohumaniora* 21 (3): 287-95.  
<https://doi.org/10.24198/sosiohumaniora.v21i3.22382>.

Olawuyi, B. J., dan K. O. Olusola. 2010. "Compressive Strength of Volcanic Ash/Ordinary Portland Cement Laterized Concrete." *Civil Engineering Dimension* 12 (1).  
<https://doi.org/10.9744/ced.12.1.23-28>.

Sivakumar, S, dan B Kameshwari. 2015. "Influence of Fly Ash, Bottom Ash, and Light Expanded Clay Aggregate on Concrete." *Advances in Materials Science and Engineering* 2015.

Sudarmadji, dan Hamdi. 2014. "Filler terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Asphalt Concrete - Wearing Course (Ac-Wc)." *PILAR Jurnal Teknik Sipil* 10 (2): 179-88.

Susanti, Rika Deni, Indra Kesuma Hadi, Sahat Sitompul, dan Ibnu Subhan. 2018. "Effect Bottom Ash as Partial Substitute of Sand on Compression Strength of Concrete." *International Journal of Engineering & Technology* 7 (4): 6084-87.  
<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.20854>.

Susanti, Rika Deni, Ramlan Tambunan, Aazokhi Waruwu, dan Munajat Syamsuddin. 2018. "Studies on Concrete by Partial Replacement of Cement with Volcanic Ash." *Journal of Applied Engineering Science* 16 (2): 161-65.  
<https://doi.org/10.5937/jaes16-16494>.

Tjokrodiluljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.

Zeyad, Abdullah M., Afzal Husain Khan, dan Bassam A. Tayeh. 2020. "Durability and Strength Characteristics of High-Strength Concrete Incorporated with Volvanic Pumice Powder and Polypropylene Fibers." *Journal of Materials Research and Technology* 9 (1): 806-13.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.021>.