

PEMANFAATAN ABU VULKANIK SEBAGAI FILLER PADA KONSTRUKSI BETON DAN PEMBUATAN BATAKO UNTUK PENGOLAHAN MINERAL ALAM

Ali Amal

Nomor Ang.B-03112

Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia (HPJI)

Jl.Darmawansa Raya No 125 Kec.Kebayoran Baru, Jakarta Selatan

E-mail: ali.amal63@yahoo.co.id

ABSTRAK Indonesia mempunyai banyak gunung vulkanik aktif dimana posisi geografis Indonesia di lewati oleh jalur gunung api serta rawan erupsi di sepanjang “ring of fire” mulai Sumatera – Jawa – Bali – Nusa Tenggara – Sulawesi – Banda- Maluku-Papua. Gunung vulkanik di Indonesia memiliki frekuensi paling rapat dan erupsinya termasuk paling aktif di dunia. Tingginya aktifitas gunung berapi di Indonesia juga berarti tingginya periode letusan gunung berapi yang terjadi, Letusan gunung ini mengeluarkan mineral-mineral alam seperti, lahar, lumpur, dan abu vulkanik yang sifatnya berbahaya bagi lingkungan di sekitarnya dan dapat mengganggu aktifitas penduduk yang tinggal dan hidup di daerah tersebut. Salah satu mineral muntahan gunung berapi adalah abu vulkanik memberi dampak yang paling besar dan berkepanjangan di bandingkan mineral lainnya. memanfaatkan abu vulkanik akan menumpuk dan menutupi lahan yang berada di sekitarnya. Sehingga perlu di lakukan pemanfaatan yang tepat terhadap dampak lingkungan ini. Melalui penelitian yang terdahulu menunjukkan bahwa abu vulkanik memiliki kandungan Silika (SiO_2) yang tinggi dan bersifat pozzolan, sehingga abu vulkanik masuk ke dalam kategori fly ash kelas N yang berarti bahwa abu vulkanik dapat di manfaatkan sebagai substitusi semen dandengan kadar optimum dapat bekerja sebagai filler untuk meningkatkan mutu beton. Abu vulkanik juga dapat dimanfaatkan sebagai material pembuatan batako sehingga dapat menopang rantai pasok kebutuhan bata di daerah lokal. Pemanfaatan ini akan mereduksi emisi karbon dioksida pada pemeroduksian semen dan memaksimalkan pemanfaatan abu vulkanik di bidang konstruksi Indonesia dengan konsep ramah lingkungan.

Kata Kunci : Abu vulkanik, Fly ash, Beton, Batako.

1. PENDAHULUAN

Abu Vulkanik merupakan butiran halus ringan, bundar, tidak porous, mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air. Dalam beberapa letusan gunung berapi yang terjadi, awan yang bergumpalan akan naik ke atas gunung, sungai lava akan mengalir di setiap sisi gunung tersebut. Pada letusan lain, abu merah yang panas dan bara api menyembur keluar dari uncak gunung dan bongkahan besar bebatuan akan terlempar tinggi ke udara. Sebagian kecil letusan memiliki kekuatan yang sangat luar biasa sehingga bisa memecah belah gunung.



Gambar 1. Dorongan magma terhadap tanah mendorong terjadinya erupsi

Letusan Gunung Vulkanik, terjadi akibat endapan magma di dalam perut bumi yang didorong keluar oleh gas yang bertekanan tinggi. Dari letusan-letusan seperti inilah gunung berapi terbentuk. Letusannya yang membawa abu dan batu menyembur dengan keras sejauh radius 18 km atau lebih, sedang lavanya bisa membanjiri daerah sejauh radius 90 km. Letusan gunung berapi bisa menimbulkan korban jiwa dan harta benda yang besar sampai ribuan kilometer jauhnya dan bahkan bias mempengaruhi putaran iklim di bumi ini. Hasil letusan gunung berapi (sumber:MPBI) Gas vulkanik, Lava dan aliran pasir serta batu panas, Lahar, Awan panas (Piroklastik), Abu letusan (*Volcanic Ash*)

Wilayah Indonesia mempunyai jalur gunungapi serta rawan erupsi (eruption) di sepanjang *ring of fire* mulai Sumatera – Jawa – Bali – Nusa Tenggara – Sulawesi – Banda- Maluku-Papua (Bronto et al; 1996). Secara umum gunung api meletus dalam rentang waktu yang panjang, namun gunung gunung vulkanik di Indonesia memiliki frekuensi paling rapat dan erupsinya termasuk paling aktif di dunia sehingga mendapat perhatian khusus dari pemerintah maupun masyarakat secara umum. Deposit lahar biasanya sangat beragam ketebalan tutupannya terhadap permukaan tanah, bahan sering terdapat spot-spot yang tidak tertutupi lahar sehingga menyisakan vegetasi insitu. Iklim yang lebih hangat dan sebaran hujan yang lebih teratur akan membantu proses pembentukan tanah dari material erupsi dan dan membantu recovery lahan yang terkena dampak erupsi. Dalam kondisi ideal tepra dapat ter-*recovery* dengan cepat, yakni ketersediaan lengas pada material lahar dingin akan membantu terbentuknya tanah dari bahan erupsi. Dari semua mineral alam yang di muntahkan saat terjadi letusan gunung vulkanik, abu vulkanik merupakan materi yang memberi dampak yang paling besar dan berkepanjangan di dibandingkan mineral lainnya. Abu letusan gunung vulkanik adalah material yang sangat halus. Karena hembusan angin dampaknya bisa dirasakan ratusan kilometer jauhnya. Abu vulkanik yang panas akan merusak segala yang dilewatinya. Sehingga membunuh makhluk hidup seperti tumbuhan dan hewan bahkan manusia. Selain itu abu vulkanik yang berterbangan dapat mencemari udara baik secara fisik (mengurangi jarak pandang) maupun secara kimia.. Abu gunung berapi memiliki beberapa kandungan zat berbahaya seperti : hidrogen sulfida (H₂S), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida dan material debu yang kemungkinan mengandung racun. Berbagai material yang dikeluarkan gunung berapi dapat memicu munculnya bibit penyakit, seperti infeksi saluran pernapasan, batuk-batuk, sakit kulit, dan sebagainya. Setelah abu vulkanik mengendap di tanah, abu ini tetap akan melumpuhkan semua kegiatan masyarakat sekitar, termasuk ekonomi yang berhenti, terutamanya untuk gunung berapi yang dimanfaatkan sebagai tempat wisata. Dengan adanya bencana ini, pariwisata akan terhenti, pemasukan dari wisata pun turut berhenti. Beberapa gunung api di Indonesia sebagai destinasi wisata contohnya, gunung Merapi dan Rinjani.

Tetapi dari dampak letusan gunung merapi ada beberapa upaya yang dapat di lakukan sehingga dampak dampak yang tadinya negatif bisa menjadi dampak yang positif. Letusan gunung merapi mengeluarkan mineral-mineral alam yang dapat di dimanfaatkan. Melalui letusan gunung merapi, lapangan pekerjaan baru tercipta untuk warga sekitar pegunungan yaitu sebagai penambang pasir. Materi vulkanik dari gunung berapi yang berupa pasir dan abu vulkanik dapat dijual dengan harga yang tinggi dan membantu perekonomian warga. Pasir yang terbentuk dari letusan gunung merapi memiliki butiran yang baik sehingga memiliki harga yang tinggi. Sedangkan Abu Vulkaniknya dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar batako maupun substitusi pada beton. Hal ini karena kandungan silika yang tinggi terkandung di dalam abu vulkanik.

Dampak Letusan Gunung Vulkanik

Lahan merupakan sumber daya yang sangat penting bagi keberlangsungan hidup manusia. FAO (1976) mendefinisikan sumber daya lahan sebagai suatu lingkungan fisik yang terdiri atas iklim, topografi, tanah, hidrologi, dan vegetasi dimana pada batas-batas tertentu mempengaruhi kemampuan lahan. Oleh karenanya sumberdaya lahan mencakup sumberdaya fisik yang meliputi iklim, vegetasi, air dan hidrologi serta bentang lahan dan tanah, sumber daya manusia yang mencakup ketersediaan petani dan struktur social, kondisi pendidikan dan aspek social lainnya, serta sumber daya modal.

1. Hilangnya daerah tangkapan air, rusaknya hutan, dan bahkan tertutupnya sumber air, serta hilangnya saluran-saluran air.

Kehilangan sumber mata air oleh tutupan material vulkanik dapat mengakibatkan berubahnya pola pengairan. Kerusakan sumber air dan juga saluran air adalah disebabkan oleh erupsi berupa hilangnya atau

pindahnya mata air, pendangkalan sungai oleh material Vulkanis. Pendangkalan sungai (kali) dapat mengakibatkan bahaya lahar dingin bagi perkampungan di sepanjang bantaran hulu sungai menjadi lebih besar.

Kerusakan hutan akibat erupsi Gunung Vulkanik dapat menyebabkan turunnya fungsi daerah tangkapan air, yang tentu akan menyebabkan masalah pada keberlangsungan mata air. Penghutan kembali dengan penanaman pohon terutama pada kawasan taman Nasional Gunung Vulkanik, merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk mengembalikan fungsi kawasan tangkapan air. Penghutan kembali dapat dilakukan dengan penanaman pohon yang memiliki adaptasi tinggi terhadap lahan pasir seperti pinus, akasia dan eucalyptus. Pengembalian fungsi tangkapan air juga seiring dengan mengurangi resiko erosi tanah. Idjudin dkk (2010) melaporkan bahwa teknik konservasi vegetative berupa lajur rumput raja, guatemala, dan rumput gajah, serta *Flemingia congesta* terhadap perbaikan produktivitas lahan endapan vulkanik cukup efektif menurunkan erosi tanah di bawah ambang batas erosi terbolehan. Upaya lain yang dapat dilakukan adalah pengontrolan erosi dengan penanaman pohon dan penebaran benih merupakan cara pemulihan lahan yang dilakukan di Jepang dan USA pada gunung Usu dan gunung St Helens, yakni penebaran benih tanaman alami di insitu (del Moral & Grishin, 1998). Namun komposisi hutan pulihan tidak sama dengan diversitas alami.

2. Kerusakan Lahan Dan Bahaya Akibat Banjir Lahar Dingin

Banjir lahar dingin bisa meluap ke bantaran sungai, mengikis tebing sungai bahkan dapat membentuk aliran baru di luar sungai jika sungai telah terpenuhi material erupsi. Akibat dari terisinya sungai oleh material letusan gunung, sehingga aliran lahar dingin dapat mengancam lahan pertanian baru atau perumahan di sepanjang bantaran sungai. Untuk dapat mengalir sebagai lahar dingin, lahar letusan gunung membutuhkan intensitas hujan yang lebih tinggi untuk mengalir sebagai banjir lahar dingin dibandingkan lahar di tempat lain (Lavigne, 2000). Jika terjadi hujan di puncak gunung, maka hal itu merupakan bahaya banjir lahar dingin yang dapat meluap ke perkampungan dan pengikisan tebing sungai, bahkan jika terjadi aliran sungai baru akan berakibat pada rusaknya pemukiman.

Lahar dingin timbul akibat penumpukan material vulkanik di puncak saat erupsi yang membentuk kubah lava, dan dapat meluncur ke bawah sewaktu-waktu jika terjadi hujan. Aliran lahar dingin memiliki daya terjang dan daya angkut sangat besar, sebagaimana hukum Stokes bahwa viskositas air semakin besar akan memiliki daya angkut yang lebih besar. Jika lahar mengalir maka batu-batu ukuran besar dapat dengan mudah terangkut bersama aliran lahar dingin, yang dapat menghantam tebing-tebing sungai dan menghanyutkan apa saja yang terkena aliran lahar dingin itu. Aliran lahar dingin juga menyebabkan kerusakan lahan berupa penggerusan dan juga tertimbunnya lahan-lahan pertanian yang terlewati. Shrin dkk (1995) melaporkan bahwa curah hujan di lereng gunung Merapi tidak merata. Bulan paling basah di lereng Merapi adalah terjadi antara Desember sampai Februari dengan curah hujan rerata 600 mm/ bulan dan dapat mencapai 800 mm/bulan, bahkan dalam kondisi hujan yang sangat lebat dapat mencapai 466 mm/hari (Lavigne dkk, 2000). Dengan sebaran hujan demikian maka pada bulan dengan intensitas hujan tinggi merupakan bulan dengan ancaman lahar dingin paling besar. Namun demikian hujan dengan karakter durasi waktu 1 – 2 jam pada kawasan Merapi menyebabkan banjir lahar dingin juga berdurasi pendek. Departemen Kehutanan (2004) melaporkan curah hujan di wilayah Merapi adalah Magelang sebesar 2.252 – 3.627 mm / th, Boyolali: 1.856 – 3.136 mm / th, Klaten: 902 – 2.490 mm / th, dan Sleman: 1.869,8 – 2.495 mm / th. Curah hujan yang tinggi juga menyebabkan erosi tanah yang dapat memperbesar banjir lahar dingin. Meskipun pada umumnya erosi dapat merugikan, namun dalam kondisi tertentu erosi bisa bernilai positif, yakni kerusakan lahan akibat timbunan material erupsi dapat berkurang, sehingga vegetasi yang terkubur material tephra dapat survive jika erosi pada material terjadi dalam waktu yang tidak lama dari kejadian erupsi (Kadomura et al., 1983).

3. Terkuburnya tanah dan terhambatnya pembentukan tanah akibat erupsi yang berulang-ulang pada gunung Berapi.

Secara umum pada gunung berapi, toposekuen sepanjang lereng gunung berpengaruh terhadap cuaca, pelapukan dan pembentukan mineral (Nizeyama et al., 1997). Iklim dan cuaca merupakan factor

yang penting dalam menentukan terbentuknya tanah secara altitudinal (Zehetner et al., 2002). Pada elevasi yang lebih tinggi, tingginya curah hujan dan rendahnya evapotranspirasi (ET) akibat pengaruh dari rendahnya suhu dan tingginya kelembaban, akan menghasilkan leaching yang lebih tinggi dan periode kering yang lebih pendek. Lingkungan yang demikian dapat membentuk tanah andik yang ditandai dengan tingginya kandungan aluminol masif dan retensi pospat yang kuat serta kandungan kompleks Al-humus. Pada elevasi yang lebih rendah, jika pelindian berkurang maka sifat andik tanah berkurang dan kandungan bahan organik berkurang akibat dekomposisi yang agak intensif karena suhu lebih tinggi. Skema pelapukan pada abu riolitik adalah pembentukan haloisit jika kondisi curah hujan berkisar 1500 mm/th, namun jika curah hujan lebih tinggi maka akan terbentuk alofan (Parfitt et al., 1983). Pembentukan material non kristalin (Al dan Fe-Aktif) dan akumulasi bahan organik merupakan proses pedogenesis yang dominan pada tanah yang terbentuk dari material vulkanik (Shoji et al., 1993).

4. Hilangnya jalan-jalan akses ke lahan pertanian dan hilangnya batas-batas kepemilikan lahan.

Kerusakan lahan akibat erupsi sangat bervariasi, termasuk dalam hal ketebalan material vulkanik yang menutupi lahan. Tutupan material vulkanik yang tebal baik dari erupsi ataupun dari lahar dingin menyebabkan batas-batas kepemilikan lahan menjadi kabur dan terkadang hilang, terutama lahan di bantaran sungai. Hal ini menyulitkan bagi badan pertanahan nasional dan juga para pemilik lahan dalam menentukan batas lahan miliknya. Pengelolaan pada lahan yang dimiliki masyarakat secara individual ataupun kepemilikan oleh desa membutuhkan pendekatan lain dari lahan milik negara. Teknik agroforestri dapat digunakan pada upaya pemulihan pada lahan-lahan milik warga atau desa, sedangkan reforestry dapat dilakukan pada lahan milik pemerintah. Penggunaan lahan milik pemerintah dapat berupa penghutanan kembali menjadi hutan lindung dan kawasan tangkapan air serta pemulihan biodiversitas kawasan. Teknik agroforestry yang berbasis tanaman rumput untuk peternakan hewan besar seperti sapi dan kambing dimungkinkan diterapkan pada lahan-lahan milik masyarakat dan desa. Tanaman rumput digunakan sebagai tanaman utama bagi penghidupan masyarakat dengan hasil berupa ternak, dan sedangkan batas petak lahan ditanami dengan tanaman kayu sebagai tabungan jangka panjang serta penguat tanah pada lereng. Penanaman pohon yang ditanam sejajar kontur dan batas-batas kepemilikan lahan dapat mencegah erosi selain memberi naungan tanaman-tanaman tertentu yang berjenis C3. Tanaman pangan seperti ketela pohon dan juga pisang dapat ditanam diantara tanaman pohon pada sejajar kontur pada agroforestry berbasis rumput pakan ini.

5. Material berupa pasir dan bahan-bahan piroklastik, serta bersifat sementasi, sehingga membutuhkan teknik dan teknologi khusus dalam memanfaatkan lahan tersebut

Pada umumnya material yang dikeluarkan oleh gunung api adalah lava, batuan piroklastik, tepra dan lahar (Del Moral & Grissin, 1998). Lava merupakan lelehan batuan dari magma, berupa material kental dan mengalir secara perlahan terhadap lahan. Lava secara umum memiliki bahaya paling kecil dibandingkan material lain dari erupsi. Pada umumnya lava mengandung batuan basaltic, riolit dan batuan silikat. Lava dari gunung vulkanik adalah kapur-alkalin, andesit basaltic dengan kandungan K-tinggi dengan komposisi SiO₂ berkisar 52-57 %. Mineralogi material lava erupsi gunung Vulkanik sepanjang sejarah selalu hampir sama dari erupsi ke erupsi yakni plagioklas, klinopiroksin (augite-salite) hornblende coklat, olivine, titaomagnetik, dan hipersten (Camus et al, 2000). Material lain dari erupsi adalah lahar. Lahar adalah material yang terbawa oleh air, dan sering disebut lahar dingin. Material yang terbawa adalah campuran material batuan, lumpur, debu yang terangkut oleh air dari bahan letusan di puncak turun ke bawah. Pengamatan di lapangan menunjukkan tiga material yang menutupi lahan yakni abu vulkanik, pasir hitam yang merupakan pasir erupsi dan pasir dengan warna yang lebih cerah yang berasal dari aliran lahar dingin. Abu vulkanik memiliki ketebalan berkisar 10 – 30 cm, sedangkan pasir hitam secara umum berada di lapisan di bawah material pasir yang lebih cerah, kecuali pada spot-spot yang tidak terkena aliran lahar tetapi terkena erupsi. Pada waktu meletus, abu vulkanik mengandung silika mineral dan bebatuan, dengan unsure paling umum adalah sulfat, klorida, natrium, kalsium dan Mg serta fluoride. Unsur dalam tanah vulkanik secara umum adalah Al: 1,8- 5,9 %, Mg 1-2,4 %, Si:2,6-2,8 % dan Fe 1,4-9,3 % (Sudaryono, 2009). Jika unsur-unsur tersebut dalam bentuk oksida seperti SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O dan SO₄ terkena hujan maka akan berubah menjadi hidroksida.

Tabel 1. Kandungan Unsur Abu Vulkanik Gunung Merapi yang Diambil pada Erupsi 2010

Unsur	Konsentrasi %	Unsur	Konsentrasi %
O	44.62	Ti	0.71
Si	23.45	P	0.40
Al	9.21	Cl	0.35
Fe	8.73	Mn	0.24
Ca	7.45	S	0.20
K	2.65	Ba	0.13
Mg	1.50	Sr	0.10

(Sumber : Analisis Lab Fisika MIPA UNS,)

6. Hilangnya daerah tangkapan air, rusaknya hutan, dan bahkan tertutupnya sumber air, serta hilangnya saluran-saluran air.

Kehilangan sumber mata air oleh tutupan material vulkanik dapat mengakibatkan berubahnya pola pengairan. Kerusakan sumber air dan juga saluran air adalah disebabkan oleh erupsi berupa hilangnya atau pindahnya mata air, pendangkalan sungai oleh material Vulkanis. Pendangkalan sungai (kali) dapat mengakibatkan bahaya lahar dingin bagi perkampungan di sepanjang bantaran hulu sungai menjadi lebih besar. Kerusakan hutan akibat erupsi Gunung Vulkanik dapat menyebabkan turunya fungsi daerah tangkapan air, yang tentu akan menyebabkan masalah pada keberlangsungan mata air. Penghutan kembali dengan penanaman pohon terutama pada kawasan taman Nasional Gunung Vulkanik, merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk mengembalikan fungsi kawasan tangkapan air. Penghutan kembali dapat dilakukan dengan penanaman pohon yang memiliki adaptasi tinggi terhadap lahan pasir seperti pinus, akasia dan eucalyptus. Pengembalian fungsi tangkapan air juga seiring dengan mengurangi resiko erosi tanah. Idjudin dkk (2010) melaporkan bahwa teknik konservasi vegetative berupa lajur rumput raja, guatemala, dan rumput gajah, serta *Flemingia congesta* terhadap perbaikan produktivitas lahan endapan vulkanik cukup efektif menurunkan erosi tanah di bawah ambang batas erosi terbolehkan. Upaya lain yang dapat dilakukan adalah pengontrolan erosi dengan penanaman pohon dan penebaran benih merupakan cara pemulihan lahan yang dilakukan di Jepang dan USA pada gunung Usu dan gunung St Helens, yakni penebaran benih tanaman alami di insitu (del Moral & Grishin, 1998).

7. Kerusakan Lahan Dan Bahaya Akibat Banjir Lahar Dingin

Banjir lahar dingin bisa meluap ke bantaran sungai, mengikis tebing sungai bahkan dapat membentuk aliran baru di luar sungai jika sungai telah terenuhi material erupsi. Akibat dari terisinya sungai oleh material letusan gunung, sehingga aliran lahar dingin dapat mengancam lahan pertanian baru atau perumahan di sepanjang bantaran sungai. Untuk dapat mengalir sebagai lahar dingin, lahar letusan gunung membutuhkan intensitas hujan yang lebih tinggi untuk mengalir sebagai banjir lahar dingin dibandingkan lahar di tempat lain (Lavigne, 2000). Jika terjadi hujan di puncak gunung, maka hal itu merupakan bahaya banjir lahar dingin yang dapat meluap ke perkampungan dan pengikisan tebing sungai, bahkan jika terjadi aliran sungai baru akan berakibat pada rusaknya pemukiman.

Lahar dingin timbul akibat penumpukan material vulkanik di puncak saat erupsi yang membentuk kubah lava, dan dapat meluncur ke bawah sewaktu-waktu jika terjadi hujan. Aliran lahar dingin memiliki daya terjang dan daya angkut sangat besar, sebagaimana hukum Stokes bahwa viskositas air semakin besar akan memiliki daya angkut yang lebih besar. Jika lahar mengalir maka batu-batu ukuran besar dapat dengan mudah terangkut bersama aliran lahar dingin, yang dapat menghantam tebing-tebing sungai dan menghanyutkan apa saja yang terkena aliran lahar dingin itu. Aliran lahar dingin juga menyebabkan kerusakan lahan berupa penggerusan dan juga tertimbunnya lahan-lahan pertanian yang terlewati. Shrin dkk (1995) melaporkan bahwa curah hujan di lereng gunung Merapi tidak merata. Bulan paling basah di lereng Merapi adalah terjadi antara Desember sampai Februari dengan curah hujan rerata 600 mm/ bulan

dan dapat mencapai 800 mm/bulan, bahkan dalam kondisi hujan yang sangat lebat dapat mencapai 466 mm/hari (Lavigne dkk, 2000). Dengan sebaran hujan demikian maka pada bulan dengan intensitas hujan tinggi merupakan bulan dengan ancaman lahar dingin paling besar. Namun demikian hujan dengan karakter durasi waktu 1 – 2 jam pada kawasan Merapi menyebabkan banjir lahar dingin juga berdurasi pendek. Departemen Kehutanan (2004) melaporkan curah hujan di wilayah Merapi adalah Magelang sebesar 2.252 – 3.627 mm / th, Boyolali: 1.856 – 3.136 mm / th, Klaten: 902 – 2.490 mm / th, dan Sleman: 1.869,8 – 2.495 mm /th. Curah hujan yang tinggi juga menyebabkan erosi tanah yang dapat memperbesar banjir lahar dingin. Meskipun pada umumnya erosi dapat merugikan, namun dalam kondisi tertentu erosi bisa bernilai positif, yakni kerusakan lahan akibat timbunan material erupsi dapat berkurang, sehingga vegetasi yang terkubur material tephra dapat survive jika erosi pada material terjadi dalam waktu yang tidak lama dari kejadian erupsi (Kadomura et al., 1983).

8. Terkuburnya tanah dan terhambatnya pembentukan tanah akibat erupsi yang berulang-ulang pada gunung Berapi.

Secara umum pada gunung berapi, toposekuen sepanjang lereng gunung berpengaruh terhadap cuaca, pelapukan dan pembentukan mineral (Nizeyama et al., 1997). Iklim dan cuaca merupakan factor yang penting dalam menentukan terbentuknya tanah secara altitudinal (Zehetner et al., 2002). Pada elevasi yang lebih tinggi, tingginya curah hujan dan rendahnya evapotranspirasi (ET) akibat pengaruh dari rendahnya suhu dan tingginya kelembaban, akan menghasilkan leaching yang lebih tinggi dan periode kering yang lebih pendek. Lingkungan yang demikian dapat membentuk tanah andik yang ditandai dengan tingginya kandungan aluminol masif dan retensi pospat yang kuat serta kandungan kompleks Al-humus. Pada elevasi yang lebih rendah, jika pelindian berkurang maka sifat andik tanah berkurang dan kandungan bahan organik berkurang akibat dekomposisi yang agak intensif karena suhu lebih tinggi. Skema pelapukan pada abu riolitik adalah pembentukan halosit jika kondisi curah hujan berkisar 1500 mm/th, namun jika curah hujan lebih tinggi maka akan terbentuk alofan (Parfitt et al., 1983). Pembentukan material non kristalin (Al dan Fe-Aktif) dan akumulasi bahan organik merupakan proses pedogenesis yang dominan pada tanah yang terbentuk dari material vulkanik (Shoji et al., 1993).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan beberapa penelitian dan kajian terdahulu terkait karakteristik Pemanfaatan Abu Vulkanik yang akan disampaikan dibawah ini

Pemanfaatan Abu Vulkanik Erupsi Gunung Merapi

Gunung Merapi terletak di perbatasan dua propinsi D.I. Yogyakarta dan Jawa Tengah, bertipe gunungapi strato dengan kubah lava, elevasi ± 2.911 m dpl dan mempunyai lebar ± 30 km (Bemmelen, 1949; Katili dan Siswoidjojo, 1994). Secara rata-rata gunung Merapi meletus dalam siklus pendek yang terjadi setiap antara 2 - 5 tahun, sedangkan siklus menengah setiap 5 - 7 tahun. Siklus terpanjang pernah tercatat setelah mengalami istirahat selama lebih dari 30 tahun, terutama pada masa awal keberadaannya sebagai gunung api. Aktivitas letusan gunung Merapi terkini pada akhir tahun 2010 tergolong erupsi yang besar dibandingkan erupsi dalam beberapa dekade terakhir. Secara umum total volume erupsi Merapi berkisar antara 100 sampai 150 km³, dengan tingkat efusi berkisar 105 m³ per bulan dalam seratus tahun (Berthommier, 1990; Siswoidjoyo et al., 1995; Marliyani, 2010), sedangkan volume material piroklastik hasil erupsi tahun 2010 ditaksir mencapai lebih dari 140 juta m³ (Tim Badan Litbang Pertanian, 2010).

Pada kondisi pH lingkungan yang umum di jumpai pada tanah, maka hidroksida alkali dan alkalin akan larut dengan menyisakan hidrosida besi, aluminium dan silikat. Kehilangan unsure alkali dan alkalin tersebut akan menyebabkan turunnya tingkat hara pada material vulkanik tersebut bagi tanaman. Abu vulkanik yang jatuh ke permukaan tanah, mengalami proses sementasi dan mengeras, menyebabkan berat jenis (BD) tanah meningkat, sedangkan porositas (RPT) dan permeabilitas tanah menurun. Purwanto (2010) melaporkan bahwa abu dan pasir erupsi Merapi memiliki pH 4 dan daya hantar listrik 5,1 mS/cm. Penutupan abu dan ketebalannya berpengaruh terhadap kepadatan tanah dan cukup sulit untuk ditembus oleh air. Namun demikian abu vulkanik cukup berpotensi untuk meningkatkan kesuburan tanah, karena pelapukan material yang terkandung dalam abu vulkanik akan menghasilkan hara-hara Ca, Mg, Na, K, dan P yang dibutuhkan tanaman. Tutupan abu vulkanik yang relatif tidak tebal (<20 cm), upaya pencampuran

dengan lapisan olah tanah dapat dilaksanakan oleh petani pada saat pengolahan tanah. Pada lahan yang tertutup abu vulkanik lebih tebal dari 20 cm dibutuhkan pengelolaan tanah yang lebih berat dengan mengupayakan pencampuran abu dengan tanah di bawahnya. Penutupan lahan oleh abu vulkanik dengan ketebalan >5-10 cm dilakukan pengolahan tanah dan pemberian pupuk organik.

Adapun Komposisi Kimia yang terkandung dalam Abu Vulkanik Gunung Merapi tertera pada tabel berikut :

Tabel 2. Komposisi Senyawa Abu Vulkanik Gunung Merapi

No	Senyawa Kimia	Persentase Berat Kering (%)
1	SiO ₂	53,80
2	Al ₂ O ₃	18,26
3	CaO	12,31
4	Fe ₂ O	10,62
5	K ₂ O	3,32
6	TiO ₂	1,13
7	MnO ₂	0,53

(Sumber : Athanasius P. Bayuseno, et al. 2010)

Salah satu masalah yang sangat berpengaruh pada kuat tekan beton adalah adanya porositas. Porositas dapat diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga kerapatan tidak dapat maksimal. Partikel terkecil bahan penyusun beton adalah semen. Untuk mengurangi porositas semen dapat digunakan bahan pengganti mineral yang bersifat *pozzolan* dan mempunyai partikel sangat halus. Salah satu bahan pengganti mineral tersebut adalah abu terbang vulkanik (*Volcanic Fly Ash*) yang disebabkan oleh meletusnya gunung merapi dengan penelitian penambahan material 5 %, 10 % dan 15 % .

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan substitusi abu vulkanik gunung Merapi

Variasi 1	Luas Penampang (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat (gr)	γ (gr/cm ³)	γ Rata2 (gr/cm ³)	Kuat Tekan (Ton)	Kuat Tekan (Kg)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan (MPa) x 0.83	Kuat Tekan Rata2 (Mpa)
Na	226,480	3397,2	7978	2,348		85,75	85750	378,621	37,130	30,818	
N	226,50	344	7950	2,309		72,75	72750	321,192	31,498	26,143	
N	229,50	344	7948	2,309	2,327	91	91000	396,514	38,885	32,274	28,115
N	229,50	341	8106	2,370		81	81000	352,941	34,612	28,728	
N	225,00	337	7760	2,299		62,5	62500	277,778	27,241	22,610	
Variasi 2	Luas Penampang (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat (gr)	γ (gr/cm ³)	γ Rata2 (gr/cm ³)	Kuat Tekan	Kuat Tekan	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan (MPa) x 0.83	Kuat Tekan Rata2
5a	225,000	3352,5	7850	2,342		57,5	57500	255,556	25,061	20,801	
5b	231,030	3442,34	8458	2,457		44	44000	190,451	18,677	15,502	
5c	228,000	3420	8096	2,367	2,361	80,5	80500	353,070	34,624	28,738	24,141
5d	232,560	3488,4	7876	2,258		80,5	80500	346,147	33,945	28,175	

	5e	228,000	3465,6	8250	2,381	77	77000	337,719	33,119	27,489	
Variasi 3	Luas Penampangan (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat (gr)	γ (gr/cm ³)	γ Rata2 (gr/cm ³)	Kuat Teka	Kuat Teka	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Kuat Teka	Kuat Tekan (MPa) x 0.83	Kuat Tekan Rata2
10a	225,000	3397,5	8114	2,388		89,5	89500	397,778	39,009	32,377	
10	226,500	3374,85	7912	2,344		79	79000	348,786	34,204	28,389	
10	223,480	3352,2	7972	2,378	2,380	74,5	74500	333,363	32,692	27,134	29,651
10	228,000	3397,2	8212	2,417		90	90000	394,737	38,710	32,130	
10	224,960	3374,4	7998	2,370		78	78000	346,728	34,002	28,222	
Variasi 4	Luas Penampangan (cm ²)	Volume (cm ³)	Berat (gr)	γ (gr/cm ³)	γ Rata2 (gr/cm ³)	Kuat Teka	Kuat Teka	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Kuat Teka	Kuat Tekan (MPa) x 0.83	Kuat Tekan Rata2
15a	225,000	3397,5	8062	2,373		60,5	60500	268,889	26,369	21,886	
15	228,000	3397,2	8112	2,388		66	66000	289,474	28,388	23,562	
15	227,970	3419,55	8030	2,348	2,379	70,67	70670	309,997	30,400	25,232	27,431
15	229,460	3418,95	8262	2,417		95	95000	414,016	40,601	33,699	
15	223,500	3330,15	7888	2,369		90	90000	402,685	39,490	32,777	

(Sumber : Ariyani, N, 2013)

Klasifikasi Abu Vulkanik terhadap Fly Ash

Abu vulkanik masuk dalam golongan abu terbang (*fly ash*). Perbedaan antara *fly ash* yang di hasilkan PLTU dan abu vulkanik adalah proses pembakarannya. Abu batu bara diperoleh dari proses pembakaran batu bara dalam tanur pembakaran PLTU, sedangkan Abu vulkanik melalui suhu magma dan letusan ketika gunung berapi mengalami erupsi.

Berikut merupakan pengklasifikasian Fly ash yang dapat dibedakan menjadi 3 jenis (ACI *Manual of Concrete Practice* 1993 Part 1 226.3R-3), yaitu :

a. Kelas C

Fly ash yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara (batubara muda).

1. Kadar (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) > 50%.
2. Kadar CaO mencapai 10%. (ASTM 20%, CSA menetapkan angka 8-20% untuk tipe CI dan di atas 20% untuk CH)
3. Kadar Karbon (C) sekitar 2%
4. Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari berat binder.

Fly ash kelas C disebut juga high-calcium *fly ash*. Hal ini dikarenakan kandungan CaO dalam *fly ash* yang cukup tinggi, fly ash tipe C mempunyai sifat cementitious selain juga sifat pozolan. Oleh karena fly ash tipe C mengandung kadar CaO yang cukup tinggi dan mempunyai sifat cementitious, jika terkena air atau kelembaban, akan berhidrasi dan mengeras dalam waktu sekitar 45 menit.

b. Kelas F

Fly ash yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara.

1. Kadar (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) > 70%.
2. Kadar CaO < 10% (ASTM 20%, CSA 8%)
3. Kadar karbon (C) berkisar antara 5% - 10%
4. Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari berat binder.

c. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chert, shales, tuff dan abu vulkanik, yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Persyaratan Umum Penggunaan Fly Ash Menurut SNI

Penggunaan abu terbang di Indonesia berdasar kepada spesifikasi yang telah di rumuskan kedalam SNI-03-2460-1991. Spesifikasi ini mencakup ketentuan-ketentuan dan persyaratan-persyaratan abu terbang untuk digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton.

Tabel 6. Persyaratan Sifat Kimia Fly Ash

No.	Senyawa	Kadar %
1	Jumlah oksida SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ minimum	70
2	SO ₃ maks	5
3	Hilang pijar maks	6
4	Kadar air maks	3
5	Total alkali dihitung sebagai Na ₂ O maks	1,5

Tabel 7. Persyaratan Sifat Fisik Fly Ash

No.	Uraian	Persyaratan
1	Kehalusan : Jumlah yang tertinggal dia atas ayakan no. 325 (0,045mm) maks %	34
2	Indeks keaktifan pozzolan : 1) dengan menggunakan semen portland kuat tekan pada umur 28 hari, minimum 2) dengan menggunakan kapur padam yang aktif, kuat tekan 7 hari, minimum N/mm	75 % KT adukan pembeding 550
3	Kekekalan bentuk pengembangan/penyusutan dengan autoclave, maksimum %	0,8
4	Jumlah air yang digunakan	105 % dari jumlah air untuk adukan pembeding
5	Keseragaman : Berat jenis dan kehalusan dari contoh uji masing-masing tidak boleh banyak berbeda dari rata-rata 10 benda uji atau dari seluruh benda uji yang jumlahnya kurang dari 10 buah, maka untuk : 1) berat jenis, perbedaan maksimum dari rata-rata, % 2) presentase partikel yang tertinggal pada ayakan no. 325 perbedaan dari rata-rata, %	5 5
6	Pertambahan penyusutan karena pengeringan (pada umur 28 hari maksimum, %)	0,03
7	Reaktifitas dengan alkali semen : Pengembangan mortar pada umur 14 hari, maksimum %	0,02

Berikut merupakan persyaratan fisis untuk bata beton seperti batako, yang di rumuskan di dalam SNI 03-0349-1989.

Tabel 8. Syarat-syarat fisik bata beton

Syarat Fisis	Satuan	Tingkat mutu bata beton pejal				Tingkat mutu bata beton berlobang			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
1. Kuat Tekan bruto * rata-rata min.	kg/cm ²	100	70	40	25	70	50	35	20
2. Kuat tekan bruto masing-masing benda uji min.	kg/cm ²	90	65	35	21	65	45	30	17
3. Penyerapan air rata-rata, maks	%	25	35	-	-	25	35	-	-

3.DATA DAN ANALISA

Pemanfaatan Abu Vulkanik Akibat Dampak yang Ditimbulkan

Abu vulkanik merupakan materi yang memberi dampak yang paling besar dan berkepanjangan di bandingkan mineral muntahan gunung vulkanik lainnya. Abu letusan gunung vulkanik merupakan material yang sangat halus jika terkena hembusan angin, abu sinabung akan terbawa dan terbang dengan radius yang besar dan dampaknya bisa dirasakan ratusan kilometer jauhnya. Abu vulkanik yang tersebar di berbagai lokasi disekitarnya akan memberi dampak merusak di berbagai aspek, seperti sumber air bersih, tertimbunnya lahan, sehingga mengganggu kegiatan pertanian didaerah letusan dan tertutupnya akses penghubung daerah.

Sebaran abu vulkanik yang mengendap menyebabkan hilangnya daerah tangkapan air, sehingga penduduk yang berada disekitar gunung akan kesulitan untuk mencari air bersih. Sumber-sumber mata air alam seperti sungai danau maupun mata air tercemar akibat abu ini. Banjir lahar dingin yang terjadi akan merusak lahan lahan yang dilewatinya bahkan juga mengalir pada sungai-sungai. Lahan yang di lewati akan terkubur dan mengakibatkan terhambatnya pembentukan tanah akibat erupsi yang berulang-ulang. Abu vulkanik yang tersebar juga menyebabkan tertutupnya jalan-jalan akses yang melewati kawasan tersebut dan akses lahan pertanian dan hilangnya batas-batas kepemilikan lahan.



Gambar 4. Abu vulkanik yang menimbun jalan di Kediri, Jawa Timur
(Sumber : Viva, 2013)

Sebagai sampel, abu vulkanik yang di dikeluarkan oleh gunung sinabung mangakibatkan polusi udara dan tanah yang cukup parah terutama di daerah-daerah yang berada di sekitar gunung tersebut. Wilayah yang terkena dampak erupsi Gunung Sinabung terdiri dari 11 kecamatan dengan luas mencapai 30.000 hektar. Angka ini menunjukkan besarnya deposit polusi yang di akibatkan abu vulkanik gunung sinabung.

Besarnya deposit abu vulkanik yang mengendap dan tertimbun diberbagai daerah mengindikasikan kemungkinan pemanfaatan mineral alam tersebut dengan mengolahnya sehingga menjadi material yang lebih bermanfaat. Mineral abu vulkanik yang dimuntahkan oleh gunung berapi berupa pasir dan bahan-bahan piroklastik, serta bersifat sementasi, yang menunjukkan adanya propertis dari mineral ini untuk dimanfaatkan kedalam bidang konstruksi. Tetapi pengolahan mineral tersebut agar memenuhi target yang diharapkan membutuhkan teknik dan teknologi khusus dalam pemanfaatannya. Oleh karena itu, pengolahan abu vulkanik ini akan memberikan peluang bisnis bagi penduduk lokal untuk mengolahnya menjadi suatu yang memiliki nilai jual dan bisa di produksi massal, seperti batako. Bagi pelaku konstruksi yang berada di sekitar wilayah berabu vulkanik tinggi, mineral ini juga dapat dimanfaatkan sebagai mineral substitusi semen pada campuran beton. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa, penambahan kadar abu vulkanik yang mengandung silika tinggi yang tepat dapat menaikkan mutu dan kinerja beton, seperti kekuatan dan durabilitasnya.

Pemanfaatan abu vulkanik sebagai bahan dasar pembuatan batako maupun campuran beton merupakan salah satu cara pemanfaatan abu vulkanik untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan langkah tepat untuk mendukung program pengembangan pembangunan yang ramah lingkungan. Secara kimia dan fisik fly ash juga telah memenuhi kriteria persyaratan yang tertuang dalam SNI-03-2460-1991 untuk memenuhi sifatnya sebagai *fly ash*.

Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Sinabung sebagai Batako

Batako biasanya terbuat dari pasir, semen, dan air. Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan untuk membuat batako adalah semen, air, pasir, dan abu vulkanik. Sedangkan, Abu vulkanik adalah mineral batu vulkanik, termasuk material kaca yang setinggi pasir dan kerikil dengan 2 mm (0,079inch) diameter dari letusan gunung berapi. Partikel abu-abu ini bisa memiliki bagian kurang dari 10-3. Ini sangat keras dan tidak bisa larut dalam air sehingga sering abrasif dan sedikit korosif, dan bisa dilakukan listrik saat basah.

Jenis mineral dalam abu vulkanik bergantung pada magma kimia dari gunung berapi yang meletus, dengan mempertimbangkannya bahwa unsur berlimpah dalam magma adalah silika (SiO_2) dan oksigen. Berbagai jenis magma dari letusan gunung api tersebut sering dijelaskan dengan parameter silika nya. Letusan yang berasal dari basal berenergi rendah (basalt: batu beku yang gelap dan partikel halus yang berasal dari lahar beku gunung berapi) menghasilkan abu gelap spesifik yang mengandung 79,7% silika (SiO_2), 3,88% aluminium (Al_2O_3), dan 12,10% kalsium oksida (CaO).

Melalui hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa, komposisi ideal substitusi abu sinabung berdasarkan hasil kuat tekannya adalah pada komposisi campuran 10% dengan kekuatan tekan rata-rata 17,19 MPa. Menurut SNI 03-0349-1989 Standar mutu, termasuk dalam kekuatan tekan kategori I pada rata-rata minimal 100 kg / cm². Pada kekuatan tarik rata-rata 2,67 MPa dan rata-rata penyerapan air 3,52%, menurut SNI 03-0349- 1989 .

Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Merapi dalam Campuran Beton

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada benda uji menunjukkan bahwa adanya peningkatan dan penurunan kuat tekan yang diakibatkan oleh adanya variasi penggantian semen terhadap abu vulkanik. Peningkatan dapat disebabkan oleh butiran abu vulkanik yang halus, karena rongga diantara butiran agregat diisi oleh butiran abu vulkanik yang dapat memperkecil pori-pori yang ada.

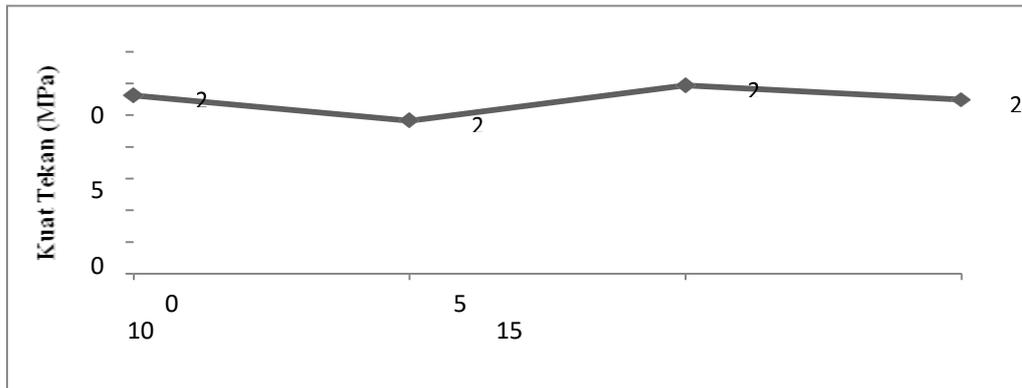
Dari hasil pemeriksaan dan penelitian yang dilakukan diperoleh kuat tekan rata-rata beton normal (tanpa tambahan abu vulkanik) adalah 28,115 MPa, berat satuan = 2,327 gr/cm³. Nilai ini lebih tinggi dari nilai kuat tekan rata-rata yang direncanakan yaitu sebesar 24,5 MPa. Dengan perhitungan yang baik dan tepat maka kuat tekan yang dihasilkan akan lebih baik juga. Perkiraan berat satuan beton adalah 2363 kg/m³ sedangkan pada penelitian ini diperoleh berat satuan beton rata-rata sebesar 2334,885 kg/m³ nilai ini mendekati perkiraan.

Pada beton dengan penggantian semen terhadap abu vulkanik sebanyak 5 % kuat tekan rata-ratanya adalah 24,141 MPa, berat satuan = 2,360 gr/cm³ kuat tekan ini turun sebesar 3,974 MPa atau sekitar 14,14% dari nilai kuat tekan pada beton normal. Hal ini disebabkan karena butiran abu vulkanik yang halus mengisi pori-pori beton, sehingga beton lebih padat.

Pada penggunaan abu vulkanik sebesar 10 % diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 29,651 MPa dan berat satuan = 2,379 gr/cm³ pada benda uji ini ada kenaikan sebesar 1,536 MPa atau 5,46 % dari nilai kuat tekan rata-rata beton normal.

Sebaliknya pada penggunaan abu vulkanik 15 % nilai kuat tekan rata-rata diperoleh sebesar 27,431 MPa, berat satuan = 2,379 gr/cm³. Nilai kuat tekan rata-rata beton ini hampir sama dengan nilai kuat tekan rata-rata pada beton normal.

Dari ketiga campuran dengan persentase abu vulkanik yang berbeda-beda tidak diperoleh gambaran yang jelas seberapa besar pengaruh penggunaan abu vulkanik terhadap kenaikan kuat tekan beton rata-rata, nilai kuat tekan beton yang diperoleh belum terlihat perubahan yang signifikan, hal ini kemungkinan disebabkan karena penggunaan abu vulkanik mengurangi jumlah semen sehingga menambah jumlah agregat halus. Dalam hal ini abu vulkanik bersifat sebagai filler bukan sebagai bahan ikat. Perubahan nilai kuat tekan rata-rata pada masing-masing campuran diperlihatkan pada Grafik 1.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Penggunaan Abu Vulkanik Terhadap Kuat Tekan Beton
(Sumber : Ariyani, N, 2013)

4.KESIMPULAN

1. Besarnya deposit abu vulkanik memungkinkan pemanfaatan mineral alam tersebut dengan mengolahnya sehingga menjadi material yang lebih bermanfaat dan bernilai jual tinggi dan dapat diproduksi massal. Pemanfaatan abu vulkanik sebagai bahan dasar pembuatan batako maupun campuran beton merupakan salah satu cara pemanfaatan abu vulkanik untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan langkah tepat untuk mendukung program pengembangan pembangunan yang ramah lingkungan.
2. Penelitian terhadap 2 gunung berapi aktif di Indonesia, yaitu Gunung Merapi dan Gunung Sinabung, menunjukkan tingginya kadar Silika (SiO₂) yang terkandung dalam abu vulkanik yang berarti abu vulkanik amat baik di gunakan sebagai substitusi semen, maupun filler campuran beton.
3. Melalui hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan substitusi abu sinabung pada pembuatan batako memberi efek peningkatan mutu kuat tekan dengan substitusi abu vulkanik sebesar 10 %.
4. Demikian pula pada substitusi semen pada beton. Kuat tekan tertinggi pada penggantian semen dengan abu vulkanik 10 % yaitu sebesar 29,65 MPa. Pada campuran ini ada kenaikan kuat tekan sebesar 5,46 % dari campuran pada beton normal yaitu sebesar 28,115 MPa. Dari tiga variasi penggantian semen dengan abu vulkanik belum diperoleh gambaran yang jelas seberapa besar pengaruh penggantian semen dengan abu vulkanik terhadap kenaikan kuat tekan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, N. 2013. “*Pengaruh Abu Vulkanik Gunung Merapi Terhadap Kuat Tekan Beton*”. Yogyakarta : Universitas Kristen Immanuel.
- Badan Litbang Pertanian. 2010. “*Laporan Hasil Kajian Singkat (Quick Assessment) Dampak Erupsi Gunung Merapi di Sektor Pertanian*”. April 2017.
- Bayuseno, Athanasius P. Et al. Oktober 2010. “*Sintesis Semen Geopolimer Berbahan Dasar Abu Vulkanik Dari Erupsi Gunung Merapi*”. ROTASI – Vol. 12, No. 4,: 10–16. Agustus 2017.
- Karolina, Rahmi et al. 2015. “*Optimization of the use of volcanic ash of Mount Sinabung eruption as the substitution for fine aggregate*”. Elsevier 1877-7058. April 2017

- Pratomo, Indyo. Desember 2006. “*Klasifikasi gunung api aktif Indonesia, studi kasus dari beberapa letusan gunung api dalam sejarah*”. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 1 No. 4 209-227. April 2017.
- Rahayu, dkk. 2014. “*Dampak Erupsi Gunung Merapi Terhadap Lahan dan Upaya-upaya Pemulihannya*”. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- SNI-03-0349 : 1989. “*Bata Beton untuk Pasangan Dinding*”. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- SNI-03-2460 : 1991. “*Spesifikasi Abu Terbang*”. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- SNI-03-6468 : 2000. “*Tata Cara Perencanaan Campuran Beton Berkekuatan Tinggi dengan Semen Portland dan Abu Terbang*”. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- SNI-03-6863 : 2002. “*Metode Pengambilan Contoh dan Pengujian Fly Ash*”. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.