

Kajian karakteristik Batako Ringan dengan Campuran Sludge Kertas

Nova Nevila Rodhi¹, Galang Reza Kurniawan²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro
Jl. Lettu Suyitno No. 2 Bojonegoro,
Email : nova.nevila@gmail.com

ABSTRAK

Batako merupakan bahan bangunan sebagai alternatif pengganti batu bata yang dibuat sebagai campuran semen, pasir dan air dengan komposisi tertentu dan berfungsi sebagai dinding. Pemanfaatan limbah sludge sebagai bahan substitusi pembuatan batako ringan merupakan salah satu alternatif yang dapat diaplikasikan. Penelitian tentang serat sludge sebagai bahan pengisi pembuatan batako memiliki beberapa tujuan 1) Untuk mengetahui pemanfaatan limbah sludge kertas sebagai bahan pengisi pembuatan batako ringan. 2) Untuk mengetahui apakah limbah padat (sludge) industri kertas di dalam beton dapat memperingan produk batako. Penentuan analisis kandungan kimia sludge kertas dilakukan dengan menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) sesuai dengan ketentuan yang berlaku menurut SNI 13-3608-94. Hasil penelitian ini adalah : 1) Pada komposisi 60% (volume) sludge dan 40% (volume) pasir dengan waktu pengeringan selama 28 hari dihasilkan batako yang terbaik. Karakteristik dari batako sludge yang dihasilkan pada komposisi terbaik adalah densitas = 1,56 gr/cm³, penyerapan air = 31,7%, kuat tekan = 9,1 MPa.

Kata kunci: Batako ringan, Sludge Kertas, Kuat tekan

PENDAHULUAN

Secara umum pertumbuhan atau perkembangan industri konstruksi di Indonesia cukup pesat, hampir 60% material yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi adalah beton, yang banyak dijumpai dalam pembuatan gedung, jalan, bendungan, saluran dan lain-lain (Maksum 2015; Putra, 2021).

Salah satu material konstruksi dalam pembuatan dinding bangunan adalah batako. Batako merupakan bahan bangunan sebagai alternatif pengganti batu bata yang dibuat sebagai campuran semen, pasir dan air dengan komposisi tertentu dan berfungsi sebagai dinding. Batako adalah bahan konstruksi yang terbuat berbasis perekat semen, sedangkan agregatnya pada pembuatan batako konvensional, berupa: pasir dan batu (kerikil). Batako umumnya banyak digunakan di bidang konstruksi dalam pembangunan rumah, gedung, jembatan, konstruksi jalan dan lain-lain. Komposisi bahan ini sangat menentukan terhadap kualitasnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi mutu batako adalah jenis semen yang digunakan, ada tidaknya bahan tambahan, agregat yang digunakan, kelembaban dan suhu ketika pengeringan serta kecepatan pembebanan (Hermanto dkk, 2014). Dalam penelitian ini akan mencoba menguasai teknologi pembuatan batako dari campuran air, semen, pasir, dan limbah abu terbang batubara (fly ash) (Husain dkk, 2020; Siagian dan Dermawan, 2021), limbah dasar abu batu bara (bottom ash) (Pangestuti, 2011; Dewi, 2021), dan limbah padat kertas (sludge) yang menghasilkan limbah dalam jumlah yang cukup besar (Zuhdy dkk, 2011; Khusna dkk, 2013). Selama ini pemanfaatan limbah padat tersebut belum optimal. Sebagian kecil limbah hanya dimanfaatkan sebagai tanah urugan pada area di sekitar pabrik, sedangkan sisanya ditimbun begitu saja.

Apabila keadaan ini dibiarkan terus-menerus, maka semakin lama pabrik akan kekurangan lahan untuk penimbunan limbah sehingga dimungkinkan terjadinya pencemaran lingkungan. Dengan demikian diperlukan upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu alternatif adalah dengan melakukan daur ulang limbah menjadi bahan bangunan seperti batako, sehingga dengan memanfaatkan limbah abu terbang batubara (fly ash), limbah dasar abu batubara (bottom ash) dan limbah padat (sludge) pabrik karet sebagai agregat batako diharapkan dapat tercapai penyerapan air < 35% dengan kekuatan mekanik 2-7 MPa (PUBI 1982).

Karakteristik batako yang umum ada di pasaran memiliki densitas rata-rata: 2,0 ÷ 2,5 gr/cm³, kuat tekan bervariasi dari 3 ÷ 50 MPa. Bila dilihat dari nilai densitas maka batako sekarang ini tergolong cukup berat, sehingga untuk mengangkatnya baik pada waktu pengangkutan ataupun instalasinya memerlukan tenaga alat berat sebagai media pembantu (Sutoni, 2018; Ebang dkk, 2022). Dengan demikian diperlukan upaya untuk mengatasi permasalahan

tersebut, salah satu alternatif adalah dengan melakukan daur ulang limbah menjadi bahan bangunan seperti batako ringan. Sehingga dengan memanfaatkan limbah padat (sludge) pabrik kertas sebagai agregat batako ringan diharapkan dapat tercapai densitas < 1600 kg/m³ dengan kekuatan mekanik 3-5 MPa (menurut British Standard BS 6073 Part I, syarat kekuatan mekanik untuk Building Block adalah 2,5 ñ 5 MPa).

Beberapa penelitian dilakukan bertujuan untuk memperoleh komposisi campuran terbaik limbah sludge sebagai bahan substitusi pembuatan bata beton yang dapat menghasilkan produk sesuai standar. Pengukuran uji karakteristik batako sludge kertas digunakan standar SNI 03-0349-1989. Hasil yang diperoleh adalah batako dengan penambahan sludge kertas maksimal 3 bagian dari total agregat menghasilkan penyerapan air sesuai standar yaitu kurang dari 25%. Sedangkan hasil uji kuat tekan, semua perbandingan komposisi bahan diperoleh nilai kuat tekan yang masuk dalam range kategori batako sebagai dinding pemisah, yaitu klasifikasi batako ringan mutu I dengan nilai kuat tekan sebesar 0,35-7,00 MPa.

Meningkatnya kapasitas produksi industri pulp dan kertas saat ini tentu berdampak pada permasalahan penanganan limbah padat (sludge) yang jumlahnya terbilang besar. Hal ini perlu adanya penanganan khusus limbah padat (sludge) kertas sehingga permasalahan tersebut teratasi. Sludge kertas merupakan limbah padat sisa dari produksi industri pulp dan kertas yang biasanya berwarna hitam atau abu-abu, dengan komposisi sebesar 90% padatan dan 10% air yang diperoleh dari proses pengendapan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Sludge yang dihasilkan dari IPAL ini masih banyak mengandung bahan organik serat dan bahan anorganik lain. Jumlah dan karakteristik lumpur IPAL akan sangat dipengaruhi oleh karakteristik air limbahnya dan sistem pengolahannya, yaitu proses fisika, kimia, atau biologi.

Sludge kertas juga menghasilkan pith yang berupa bahan dari proses depething plant yaitu pemisahan secara mekanik yang terdiri dari bahan serat dan bahan bukan serat (Kusbianto dkk, 2023). Jumlah sludge pabrik pulp dan kertas lebih kurang sepertiga dari jumlah seluruh limbah yang ada. Limbah padat yang dihasilkan industri kertas berasal dari beberapa unit proses yang umumnya berasal dari proses penyaringan bubur pulp (reject screen) dan proses pengolahan air limbah (IPAL). Setiap unit proses pada produksi pulp dan kertas menghasilkan limbah cair yang komponen utamanya berupa serat dan senyawa organik kompleks lignin. Penanganannya dilakukan dengan pengolahan primer dan pengolahan proses biologi lumpur aktif dengan suplai oksigen dan udara dan penambahan nutrisi. Hasil dari pengolahan limbah cair diperoleh air limbah terolah yang telah memenuhi baku mutu persyaratan pembuangan air limbah ke lingkungan dan menghasilkan pula lumpur sebagai limbah padat (Rosidi dan Razif, 217)

Industri kertas menghasilkan limbah padat berupa sludge (lumpur) yang berasal dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam jumlah yang cukup besar. Sebagian kecil limbah hanya dimanfaatkan sebagai tanah urugan pada area di sekitar pabrik dan juga sebagai land fill, sedangkan sisanya ditimbun begitu saja. Apabila keadaan ini dibiarkan terus-menerus, maka semakin lama pabrik akan kekurangan lahan untuk penimbunan limbah sehingga dimungkinkan terjadinya pencemaran lingkungan. Dengan demikian diperlukan upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu alternatif adalah dengan memanfaatkannya menjadi bahan tambahan (aditif) beton ringan (batako) untuk mengurangi volume pasir (Rusliansyah dkk, 2012).

Batako adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk masa padat. Batako mempunyai sifat-sifat panas dan ketebalan total yang lebih baik daripada beton padat. Batako dapat disusun 4 kali lebih cepat dan cukup untuk semua bahan bangunan penyusun untuk dinding pada bangunan/gedung. Seperti paving block, batako berasal dari bata concrete atau bata beton dalam bahasa teknik sering disebut bataton. Bata ini tidak dibuat dari tanah liat seperti umumnya bata merah, tetapi campuran bahan pembuatan batako atau bataton ini layaknya beton, yaitu pasir, semen, kerikil dan air. Beberapa produsen batako ada juga yang memproduksi tanpa menggunakan kerikil, tapi hasilnya kurang bagus jika dibandingkan dengan batako yang bahan penyusunnya seperti membuat beton.

Batako merupakan batu cetak yang tidak dibakar, berdasarkan bahan bakunya batako dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Batako tras/putih, Batako putih terbuat dari campuran trass, batu kapur, dan air, sehingga sering juga disebut batu cetak kapur trass. Trass merupakan jenis tanah yang berasal dari lapukan batu-batu yang berasal dari gunung berapi, warnanya ada yang putih dan ada juga yang putih kecokelatan. Ukuran batako trass yang biasa beredar di pasaran memiliki panjang 20 cm–30 cm, tebal 8 cm–10 cm, dan tinggi 14 cm–18 cm.
2. Batako semen, dibuat dari campuran semen dan pasir. Ukuran dan model lebih beragam dibandingkan dengan batako putih. Batako ini biasanya menggunakan dua lubang atau tiga lubang disisinya untuk diisi oleh adukan pengikat. Nama lain dari batako semen adalah batako pres, yang dibedakan menjadi dua bagian, yaitu pres mesin dan pres tangan. Secara kasat mata, perbedaan pres mesin dan tangan dapat dilihat pada kepadatan permukaan batakonya. Di pasaran ukuran batako semen yang biasa ditemui memiliki panjang 36 cm–40 cm, tinggi 18 cm–20 cm dan tebal 8 cm–10 cm.

3. Batako ringan dibuat dari bahan batu pasir kuarsa, kapur, semen dan bahan lain yang dikategorikan sebagai bahan-bahan untuk beton ringan. Berat jenis sebesar 1850 kg/m³ dapat dianggap sebagai batasan atas dari beton ringan yang sebenarnya, meskipun nilai ini kadang-kadang melebihi. Dimensinya yang lebih besar dari bata konvensional yaitu 60 cm x 20cm dengan ketebalan 7 hingga 10 cm menjadikan pekerjaan dinding lebih cepat selesai dibandingkan bata konvensional.

Tabel 1. Syarat Kuat Tekan Batako SNI 03-0349-1989

Mutu	Kuat tekan minimum (Kg/cm ²)
I	97
II	67
III	37
IV	2

Penelitian ini akan mencoba menguasai teknologi pembuatan batako ringan dari campuran air, semen, pasir, dan limbah padat pabrik kertas yang menghasilkan limbah dalam jumlah yang cukup besar. Selama ini pemanfaatan limbah padat tersebut belum optimal. Sebagian kecil limbah hanya dimanfaatkan sebagai tanah urugan pada area di sekitar pabrik, sedangkan sisanya ditimbun begitusaja. Apabila keadaan ini dibiarkan terus-menerus, maka semakin lama pabrik akan kekurangan lahan untuk penimbunan limbah sehingga dimungkinkan terjadinya pencemaran lingkungan.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang merupakan metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh treatment (perlakuan) tertentu. Rancangan penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui bagaimana pengaruh pemanfaatan limbah kertas sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton ringan yang ditinjau dari kuat tekan. Unit studi penelitian ini adalah beton ringan sebanyak 30 buah.

Bahan baku yang dipergunakan untuk pembuatan batako sludge antara lain:

1. Semen type I (Portland cement).
2. Limbah padat (sludge) dari kertas bekas limbah perkantoran yang sudah tidak terpakai
3. Air.
4. Pasir

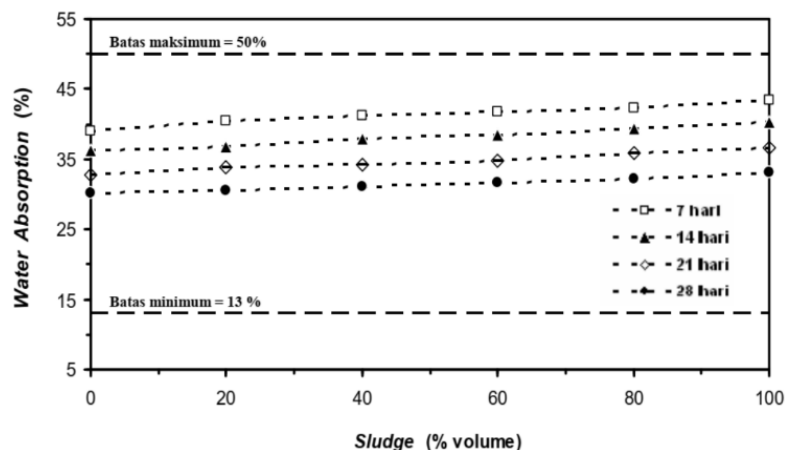
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sludge kertas limbah kantor, HNO₃ 65%, HClO₄ 60%, Pb(NO₃)₂, semen, air, dan pasir. Peralatan yang digunakan untuk pembuatan benda uji dan pemeriksaan material pada penelitian, terdiri atas:

1. Timbangan digital.
2. Cetakan batako (mould steel).
3. Ayakan screen 100 mesh.
4. Signal generator
5. Osiloscope.
6. Sound level meter.
7. Ball Mill

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : berbagai alat gelas, ayakan ukuran 100 mesh, mortar dan alu, neraca analitik merek Adventurer TM Ohaus, neraca digital, labu Kjeldahl, kertas saring Whatman, cetakan batako, ember plastik, pengaduk, drying oven, hotplate stirrer merek Daihan Lab Tech, alat uji X-Ray Fluorescence, alat uji kuat tekan batako CBR Test Mechine, dan AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji pada sampel diketahui bahwa penyerapan air dari batako sludge yang dikeringkan secara alami (7, 14, 21 dan 28 hari) diperoleh berkisar antara: 30,2 ñ 43,4%. Nilai penyerapan air dari batako sludge dengan variasi komposisi: 0 ñ 100% (volume) sludge dan dikeringkan selama 7 hari adalah berkisar antara: 39,0 ñ 43,4%. Kemudian dengan komposisi yang sama dan waktu pengeringannya diperpanjang masing-masing: 14, 21 dan 28 hari, maka nilai penyerapan airnya cenderung menurun menjadi: 36,3 ñ 40,3, 32,8 ñ 36,6 dan 30,2 ñ 33,1%.



Gambar 1. Hubungan antara Penyerapan Air terhadap Penambahan Sludge

Apabila dilihat dari fungsi waktu pengeringan terbaik adalah selama 28 hari dan waktu pengeringannya diperpanjang lagi, maka pengaruhnya tidak cukup signifikan. Hasil penelitian lain pada foam concrete setelah perendaman selama 10 hari, menghasilkan nilai penyerapan air hanya sebesar 13%, sedangkan pada dense concrete block dengan perendaman waktu yang sama adalah 50%.

Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa komposisi 0 ÷ 40% (volume) sludge, penyerapan airnya < 13% dan untuk komposisi > 40% (volume) sludge, nilai penyerapan airnya > 13%.

Tabel 2. Hasil uji serap air pada sampel

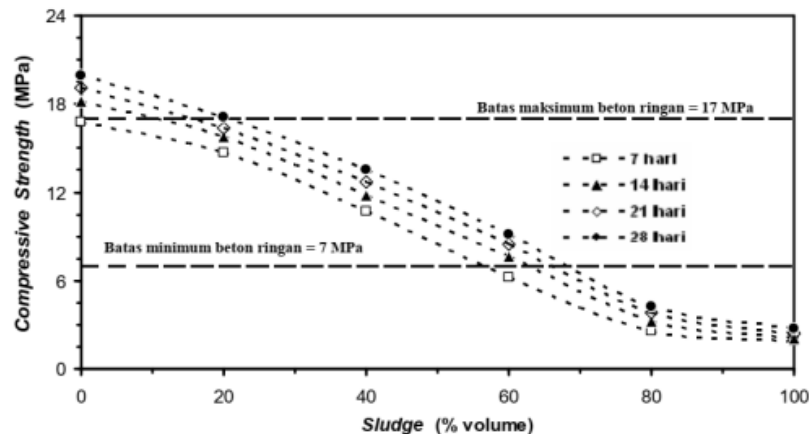
Variasi (%)	Benda uji	Berat setelah direndam	Berat setelah dikeringkan	Nilai daya serap air	Rata-rata
0	1	18648	1625	0,135	0,040
	2	19422	17823	0,090	
	3	14142	13901	0,017	
4	1	18400	15913	0,156	0,051
	2	18052	17434	0,035	
	3	19730	17662	0,117	
8	1	19148	15136	0,265	0,162
	2	19510	14138	0,380	
	3	16823	12666	0,328	

Komposisi sludge yang layak ditambahkan sehingga mendekati nilai penyerapan air minimum adalah berkisar antara 40 dan 60% (volume) sludge. Adanya air yang terperangkap di dalam batako sludge lambat laun akan terlepas secara bertahap sebagai fungsi waktu pada saat pengerasan. Pengaruh penambahan sludge menunjukkan besarnya nilai penyerapan air cenderung meningkat.

Hal ini dapat disebabkan oleh adanya reaksi eksotermal antara CaO dan SiO₂, yang akan menimbulkan panas, serta gelembung-gelembung gas (CO₂) maupun H₂O yang terbentuk selama proses pencetakan dan pada saat pengerasannya justru akan terurai. Gelembung-gelembung udara ini menjadikan volumenya menjadi dua kali lebih besar dari volume awal. Pada akhir proses pengembangan hidrogen akan terlepas ke atmosfer dan posisinya langsung digantikan oleh udara, sehingga menimbulkan rongga dan membuat batako menjadi ringan (Wijoseno, 2008).

Hasil selanjutnya diketahui bahwa kuat tekan dari batako sludge yang dikeringkan secara alami: 7, 14, 21 dan 28 hari, adalah berkisar antara 1,90 ÷ 19,93 MPa. Nilai kuat tekan dari batako sludge dengan variasi komposisi: 0 ÷ 100% (volume) sludge dan dikeringkan selama 7 hari adalah berkisar antara: 1,90 ÷ 16,78 MPa. Kemudian dengan komposisi yang sama dan waktu pengeringannya diperpanjang masing-masing: 14, 21 dan 28 hari, maka nilai kuat tekan cenderung naik menjadi: 2,10 ÷ 18,19, 2,40 ÷ 19,10 dan 2,70 ÷ 19,93 MPa.

Apabila dilihat dari fungsi waktu pengeringan terbaik adalah selama 28 hari. Pernyataan ini dikuatkan dari hasil penelitian (Smita Badur and Rubina Chaudhary, 2008) yang menunjukkan hubungan antara compressive strength terhadap waktu pengeringan di atas 30 hari relatif konstan.



Gambar 2. Hubungan antara Kuat Tekan terhadap Penambahan Sludge (% Volume) Melalui Proses Pengeringan Alami

Sedangkan menurut referensi pembagian batako ringan berdasarkan kuat tekannya antara 0,35 - 7 MPa digunakan sebagai dinding pemisah atau dinding isolasi, 7 - 17 MPa digunakan sebagai dinding pemikul beban, dan > 17 MPa dapat digunakan sebagai batako normal struktur. Referensi lain nilai kuat tekan dari batako ringan berpori yang dikeringkan secara alami adalah sebesar 1,6 MPa. Nilai kuat tekan batako ringan struktural adalah berkisar 1900 psi atau 13,1 MPa (Sumbawaty dkk, 2018)

Dari hasil penelitian memperlihatkan bahwa penambahan sludge cenderung menurunkan kuat tekan pada batako tersebut. Jadi penambahan sludge optimum (diperkenankan) adalah sebanyak 42,9% (volume) sebagai beton ringan pemikul beban. Artinya penggunaan sludge dapat mengurangi pemakaian pasir semaksimal mungkin sekitar 42,9% untuk pembuatan batako tersebut.

Pada variasi 0% maka terlihat bahwa rata-rata 0,29%, sedangkan pada variasi 4% nilai rata-rata sebesar 0,27%, dan pada variasi 8% nilai rata-rata mencapai angka 0,25%. Di samping itu dengan bobot batako yang ringan maka handling dan pemasangannya akan jauh lebih mudah dan relatif lebih cepat. Adapun hasil berat jenis batako dengan variasi 0%, 4% dan 8% adalah sebagai berikut ini:

Tabel 3. Berat jenis sampel batako

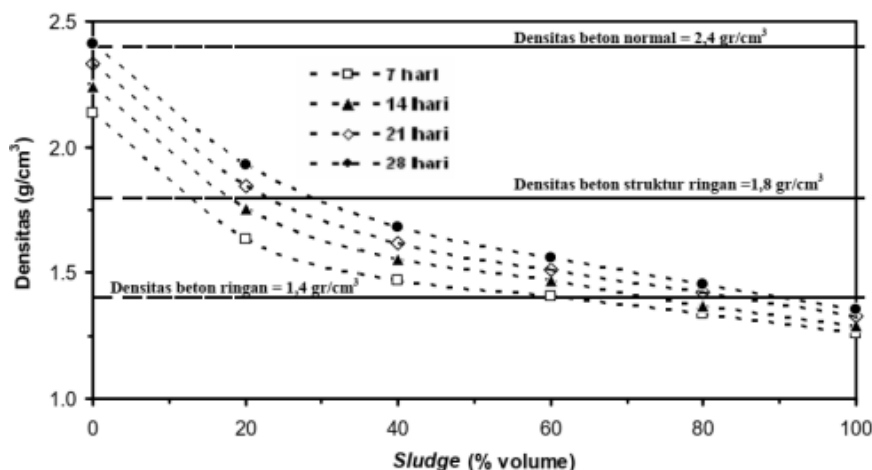
Variasi (%)	Balok	Berat (kg)	Volume (m ³)	Berat jenis (Gr/cm ³)	Rata-rata
0	1	3,143	0,0016	1964,38	1640,78
	2	2,86	0,0016	1787,50	
	3	2,135	0,0016	1345,63	
	4	2,345	0,0016	1465,63	
4	1	2,792	0,0016	1745,00	1616,09
	2	2,697	0,0016	1685,63	
	3	2,36	0,0016	1475,00	
	4	2,494	0,0016	1558,75	
8	1	2,745	0,0016	1715,63	1556,88
	2	2,615	0,0016	1634,38	
	3	2,14	0,0016	1337,50	
	4	2,464	0,0016	1540,00	

Berdasarkan hasil pada Tabel di atas dapat disimpulkan bahwa dengan volume benda uji yang sama yakni: 0,0016 m³ maka pada variasi 0% berat jenis rata-rata mencapai 1640,78. Pada variasi 4% berat jenis rata-rata mencapai 1616,09. Sedangkan variasi 8% berat jenis rata-rata mencapai 1556,88.

Sludge kertas yang dipakai dalam penelitian ini diperoleh dari limbah perkantoran. Sebelum diuji kandungan kimia dalam sludge kertas, terlebih dahulu sampel dioven untuk memperoleh sampel kering dan dapat dihaluskan.

Batako sludge yang telah dibuat dari campuran semen, pasir dan sludge, dikeringkan secara alami (7, 14, 21 dan 28 hari), dan kemudian diuji sifatnya. Karakteristik batako sludge sangat ditentukan oleh komposisi pasir silika: sludge dan proses pengeringannya. Untuk mengetahui karakteristik batako tersebut maka perlu diukur besaran-besaran fisisnya antara lain: penyerapan air, kuat tekan, dan berat jenis.

Hasil pengukuran densitas batako sludge yang berbasis campuran semen, pasir dan sludge, setelah dikeringkan secara alami: 7, 14, 21 dan 28 hari diperoleh hasil seperti pada gambar berikut



Gambar 3. Hubungan antara Densitas terhadap Penambahan Sludge

Gambar 4 menjelaskan bahwa densitas batako sludge yang dikeringkan secara alami diperoleh berkisar antara 1,259 ÷ 2,410 gr/cm³. Nilai densitas batako sludge dengan variasi komposisi: 0-100% (volume) sludge dan dikeringkan selama 7 hari adalah berkisar antara: 1,259 ÷ 2,138 gr/cm³. Kemudian dengan komposisi yang sama dan waktu pengeringannya diperpanjang masing-masing: 14, 21 dan 28 hari, maka nilai densitasnya cenderung meningkat menjadi: 1,290 ÷ 2,241, 1,326 ÷ 2,330 dan 1,352 ÷ 2,410 gr/cm³. Dari hasil yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa fungsi waktu pengeringan akan meningkatkan nilai densitas karena Sebagian air kristal yang terdapat dalam beton akan terurai (terlepas).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa batako berbahan sludge kertas ini dapat digunakan sebagai dinding pemisah. Pengujian kuat tekan optimum batako diperoleh pada sampel dengan komposisi agregat (pasir : sludge kertas) = 2:3. Semakin besar nilai kuat tekan maka kualitas batako semakin baik. Jadi penggunaan sludge kertas sebagai agregat dalam pembuatan batako untuk uji kuat tekan optimum yaitu pada 3/2 bagian dari total 5 bagian agregat, lebih atau kurang dari itu kualitas batako menurun. Aplikasi pembuatan batako berbahan sludge kertas ini dapat mengurangi pemakaian pasir dalam campuran bahan, sehingga dapat menekan biaya produksi.

Selain itu, karena bobot batako yang lebih ringan, maka akan jauh lebih mudah dan cepat dalam proses pemasangannya. Pada pengamatan tersebut juga terlihat dengan komposisi yang sama dan waktu pengeringannya diperpanjang dari 14 hari menjadi 28 hari, maka nilai kuat tekan batako cenderung naik, artinya jika dilihat dari fungsi waktu pengeringan yang baik adalah selama 28 hari. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu pengeringan batako maka diperoleh batako dengan pengerasan yang baik seiring menurunnya daya serap air optimal. Ternyata dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa, apabila waktu pengeringan atau pengerasan (aging) diperpanjang maka nilai densitas cenderung meningkat. Artinya proses pengeringan sangat mempengaruhi kualitas batako tersebut. Jadi waktu pengeringan terbaik adalah selama 28 hari dan apabila waktu pengeringannya diperpanjang lagi, maka pengaruhnya tidak cukup signifikan.

pembagian batako ringan berdasarkan berat jenis 240 ÷ 800 kg/m³, digunakan sebagai dinding pemisah atau dinding isolasi, berat jenis 800 ÷ 1400 kg/m³, digunakan sebagai dinding pemikul beban, dan berat jenis 1400 ÷ 1800 kg/m³, dapat digunakan sebagai batako normal struktur. Apabila dilihat dari ketiga kategori di atas, maka pada komposisi < 20% (volume) sludge adalah termasuk beton normal, penambahan sekitar: 40 ÷ 80% (volume) sludge termasuk beton ringan struktur dan dapat difungsikan sebagai pengganti batako normal. Sedangkan untuk komposisi > 80% (volume) sludge adalah termasuk batako ringan untuk penyekat atau dinding. kualifikasi dari jenis batako ringan struktur adalah memiliki densitas dalam rentang 1,44 ÷ 1,84 gr/cm³ (NRMCA, 2000). Pada referensi lain, batako berpori yang diklasifikasikan sebagai batako ringan adalah yang memiliki densitas < 1 gr/cm³

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada komposisi 60% (volume) sludge dan 40% (volume) pasir dengan waktu pengeringan selama 28 hari dihasilkan batako yang terbaik. Karakteristik dari batako sludge yang dihasilkan pada komposisi terbaik adalah densitas = 1,56 gr/cm³, penyerapan air = 31,7%, kuat tekan = 9,1 MPa, bahwa penambahan sludge cenderung menurunkan kuat tekan pada batako tersebut. Jadi penambahan sludge optimum (diperkenankan) adalah sebanyak 42,9% (volume) sebagai beton ringan pemikul beban. Artinya penggunaan sludge dapat mengurangi pemakaian pasir semaksimal mungkin sekitar 42,9% untuk pembuatan batako tersebut.
2. Pada variasi 0% maka terlihat bahwa rata-rata 0,29%, sedangkan pada variasi 4 % nilai rata-rata sebesar 0,27%, dan pada variasi 8% nilai rata-rata mencapai angka 0,25%. Di samping itu dengan bobot batako yang ringan maka handling dan pemasangannya akan jauh lebih mudah dan relatif lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA (DAN PENULISAN PUSTAKA)

- Anonimous (1982), "Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia (PUBI-1982) _ Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan". https://tuxdoc.com/download/persyaratan-umum-bahan-bangunan-di-indonesia-pubi-1982-direktorat-penyelidikan-m-5_pdf
- Dewi S U (2021), "ANALISA PENAMBAHAN BOTTOM ASH TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON". JICE (Journal of Infrastructural in Civil Engineering) 02(02):31-45. https://www.researchgate.net/publication/353838239_ANALISA_PENAMBAHAN_BOTTOM_ASH_TERHADAP_KUAT_TEGAN_DAN_KUAT_TARIK_BELAH_BETON
- Ebang, Mail A, Rauf N, Hafid M F (2022), "Composition Analysis of Perforated Concrete Roster Raw Materials To Improve Product Compressive Strength Using Experimental Design Approach". Journal of Industrial System Engineering and Management 1(1):27-35 DOI:10.56882/jisem.v1i1.5. https://www.researchgate.net/publication/363490749_Composition_Analysis_of_Perforated_Concrete_Roster_Raw_Materials_To_Improve_Product_Compressive_Strength_Using_Experimental_Design_Approach
- Hermanto D, Supardi, dan Purwanto E (2014), "KUAT TEKAN BATAKO DENGAN VARIASI BAHAN TAMBAH SERAT IJUK". e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/September 2014/491. <https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/viewFile/37420/24650>
- Husain L O, Endriatno N dan Aminur A (2020), "Pengaruh Penambahan Fly Ash dan Serbuk Kaca Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Batako". ENTHALPY: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin. https://www.researchgate.net/publication/359716894_Pengaruh_Penambahan_Fly_Ash_dan_Serbuk_Kaca_Terdap_Sifat_Fisik_dan_Mekanik_Komposit_Batako
- Khusna H, Sunarto W dan Alauhdin M (2013), "NALISIS KANDUNGAN KIMIA DAN PEMANFAATAN SLUDGE INDUSTRI KERTAS SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN BATAKO". Indo. J. Chem. Sci. 2 (2) (2013) Indonesian Journal of Chemical Science. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Kusbianto D E, Sitompul L Y, Sari A P dan Oetama B S (2023), "Total Mikroba pada Tanah yang Dicemari Sludge Limbah Pabrik Kertas dengan Perlakuan Pupuk Guano". Berkala Ilmiah Pertanian. Volume 6 Nomor 2, Mei 2023, hlm 43 – 47.
- Pangestuti E K (2011), "Penambahan Limbah Abu Batu Bara Pada Batako Ditinjau Terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air". Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, Nomor 2 Volume 13, Juli 2011.
- Putra H (2021), "Beton Sebagai Material Konstruksi" Gre Publishing, <https://www.researchgate.net/publication/354170508>
- Rosidi M dan Razif M (2017), "Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Kertas Halus". JURNAL TEKNIK ITS Vol. 6, No. 1, (2017) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print). <https://media.neliti.com/media/publications/213739-perancangan-instalasi-pengolahan-air-lim.pdf>
- Rusliansyah, Rahman F, dan Maimun Z, (2012), "PEMANFAATAN LIMBAH SLUDGE IPAL PT BSKP SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI PEMBUATAN BATA BETON". INFO TEKNIK, Volume 13 No. 1, Juli 2012. <https://media.neliti.com/media/publications/65987-ID-pemanfaatan-limbah-sludge-ipal-pt-bskp-s.pdf>
- Siagian H dan Dermawan A (2021), "Pengujian Sifat Mekanik Batako Yang Dicampur Abu Terbang (Fly Ash)". Jurnal Sains Indonesia Volume 35(1): 23- 28, 2011 ISSN 0853-3792. <https://digilib.unimed.ac.id/id/eprint/384/1/Pengujian%20sifat%20mekanik%20batako%20yang%20dicampur%20abu%20terbang.pdf>
- Sumbawaty N, Ahzan S, dan Prasetyad D S B (2018), "Uji Porositas dan Kuat Tekan Batako Ringan Berbahan Dasar Limbah Pengolahan Emas (LPE) dengan Filler Pohon Pisang (FPP)". Jurnal Penelitian dan Pengkajian Ilmu Pendidikan: e-Saintika e-ISSN 2615-6881 // Vol. 1 No. 2 June 2018, pp. 87-93. <https://media.neliti.com/media/publications/287931-uji-porositas-dan-kuat-tekan-batako-ringan-af8b3692.pdf>

- Sutoni A (2018), "Uji Kuat Tekan dan Daya Serap pada Batako dengan Menggunakan Metode Taguchi". Jurnal Sistem dan Manajemen Industri Vol 2 No 2 Desember 2018, 93-100. https://www.researchgate.net/publication/330086763_Uji_Kuat_Tekan_dan_Daya_Serap_pada_Batako_dengan_Menggunakan_Metode_Taguchi
- Tanubrata M (2015), "BAHAN - BAHAN KONSTRUKSI DALAM KONTEKS TEKNIK SIPIL". Jurnal Teknik Sipil Volume 11 Nomor 2, Oktober 2015 : 76-168. <https://media.neliti.com/media/publications/143850-ID-bahan-bahan-konstruksi-dalam-konteks-teknik.pdf>.
- Zuhdy A Y, Maulanie E, Purwanto M S, dan Lukman L (2011), "Pemanfaatan Limbah Sludge Kertas PT.Adiprma Suraprinta dalam Pembuatan Batako". Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, Vol 9, No 1 (2011). <https://iptek.its.ac.id/index.php/jats/article/view/2709>.