

PREPARASI BETON POLIMER BERBASIS *SLUDGE* – ABU TERBANG DAN KARAKTERISASINYA

Perdamean Sebayang¹, Muljadi¹, Deni S. Khaerudini¹, dan Anggito P. Tetuko¹

ABSTRACT

Polymer concrete has been made using fly ash and sludge waste for raw material bases, and epoxy resin was used as binder material. The sludge raw material was dried and crushed until fine powder morphology, then the fly ash was crushed again until through out 100 mesh and it blended until became homogeneous mixing materials. The raw material compositions where added with epoxy resin, that is: 10 and 15 % from the total weight of raw material. The sample testing was made by hand press method with dimension: 4 x 4 x 16 cm³. The testing of samples included: density, water absorption, fire resistance, compressive, and bending strength. Microstructure analysis was used Scanning Electron Microscope (SEM) method. The results show that polymer concrete based on fly ash - sludge and epoxy resin binder is properly moderate, if it is compared to conventional concrete. The best result has the composition of 60 % fly ash, 40 % sludge, and 15 % epoxy resin (% weight) composition, with its characteristics: density = 1.93 g/cm³, water absorption = 0.74 %, compressive strength = 28 MPa, and bending strength = 12.8 MPa. The polymer concrete that has been made is suitable for building material application, especially in the water or submerged area, and it also has light weight concrete specification.

Keywords: *polymer concrete, binder epoxy resin, sludge, fly ash*

PENDAHULUAN

Aktivitas dari suatu industri dapat berdampak positif maupun negatif, tergantung pada kesiapan dalam menangani permasalahannya. Pada industri *pulp* dan kertas, salah satu produk turunan berupa limbah yang sampai saat ini masih berpotensi menjadi masalah, apabila tidak ditangani dengan baik dan benar. Limbah yang dihasilkan umumnya berupa limbah padat berkadar air tinggi, berasal dari hasil proses air buangan atau dikenal dengan nama *sludge*⁽¹⁾.

Sludge mengandung serat, zat pengisi, dan aditif yang termasuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), selama ini dibuang begitu saja di kawasan pabrik kertas dengan cara *landfill*⁽²⁾. Alternatif lain bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku sumber energi pada pabrik bersangkutan melalui proses lanjutan dan membutuhkan biaya tambahan yang tidak sedikit.

Limbah *sludge* apabila dibuang begitu saja akan mengakibatkan pencemaran lingkungan⁽³⁾. Sedangkan potensi limbah *sludge* cukup banyak, yaitu sebesar 178 juta ton/tahun *pulp* di Indonesia dan tertumpuk pada daerah pembuangan produksi pabrik-pabrik kertas⁽⁴⁾. Salah satu alternatif yang ditawarkan adalah pemanfaatan *sludge* sebagai substitusi bahan baku beton ringan dengan perekat menggunakan polimer, sehingga dapat mengurangi bobot beton.

Melalui perekayaan material, khususnya pembuatan beton polimer berbasis limbah industri maka aspek pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) dapat diwujudkan⁽⁵⁾. Dengan demikian masalah lingkungan dan kebutuhan akan bahan bangunan dari waktu ke waktu yang terus meningkat akan terpenuhi. Ditinjau dari segi investasi maupun dari pembiayaan fabrikasi akan relatif lebih murah bila dibandingkan pada pembuatan beton konvensional. Hal ini didukung dengan adanya

¹Kelompok Rekayasa Material, Pusat Penelitian Fisika-LIPI, Gedung 440 Kawasan PUSPIITEK Serpong Tangerang 15314 Banten, Tlp. 021-7560570, Fax. 021-7560554, Email: pard003@lipi.go.id

penggunaan bahan baku berupa limbah dan waktu pengeringan yang dapat dipercepat hanya dalam beberapa jam.

Perkembangan bidang jasa dan konstruksi bahan bangunan di Indonesia cukup pesat, seiring dengan pertambahan jumlah penduduk. Sektor pembangunan perumahan, apartemen, perkantoran, pertokoan, dan lainnya sangat membutuhkan material konstruksi yang tidak sedikit, seperti bata atau batako⁽⁶⁾. Oleh karena itu, pemilihan bahan bangunan murah, kuat, dan ringan merupakan salah satu solusinya⁽⁷⁾. Pemilihan beton polimer berbasis *sludge* dari industri pengolahan *pulp* dan kertas perlu dilakukan untuk menekan biaya proses produksi. Permasalahannya adalah bagaimana agar aspek teknis terpenuhi, *handling*, dan pemasangannya relatif lebih cepat dibandingkan dengan bata atau batako pada umumnya.

Beton polimer (*polymer concrete* = PC) adalah material komposit, di mana perekatnya terdiri atas polimer sintesis organik, atau dikenal sebagai beton resin⁽⁸⁾. Beton resin dengan perekat polimer, seperti: jenis *thermoplastic* atau *thermosetting* polimer dan mineral pengisinya dapat berupa: agregat (*gravel* dan *crushed stone*)⁽⁹⁾. Keunggulan beton polimer, antara lain: kekuatannya tinggi, tahan terhadap bahan kimia dan korosi, penyerapan air rendah, dan stabilitas pemadatan tinggi dibanding beton *portland* konvensional. Demikian pula sifat viskoelastis dari

perekat polimer memberikan nilai *creep* yang tinggi dan berkaitan dengan penggunaan beton struktural pada umumnya. Produk beton polimer antara lain dapat digunakan sebagai: tangga, sanitari, lantai, panel, bangunan komersial, pemipaan, *skid-resistant overlays in highways*, dan lain-lain⁽¹⁰⁾.

Pada makalah ini akan dibahas proses perkerayaan beton struktural jenis ringan dengan memanfaatkan *sludge* dan abu terbang sebagai pengisi, serta resin polimer sebagai material pengikat. Variasi komposisi abu terbang dan *sludge* dibuat masing-masing dengan perbandingan: 100 : 0; 80 : 20; 60 : 40; 40 : 60; 20 : 80; dan 0 : 100 (% berat). Sedangkan jumlah resin epoksi yang digunakan pada pembuatan beton polimer adalah: 10 dan 15% (berat) dari berat total bahan baku. Pengujian yang dilakukan meliputi: densitas, daya serap air, kuat tekan, kuat patah, dan ketahanan api. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) merek Shimadzu type SS 550.

METODOLOGI

Material beton polimer yang dibuat terdiri atas bahan baku utama *sludge* dan abu terbang yang berfungsi sebagai pengisi, sedangkan sebagai bahan pengikat adalah jenis resin epoksi. *Sludge* yang akan digunakan terlebih dahulu dikeringkan

Tabel 1. Komposisi Bahan Baku (Abu Terbang dan *Sludge*)

Komposisi (% berat)		Resin epoksi (% berat total)	
Abu terbang	<i>Sludge</i>	10	15
0	100	A1	A2
20	80	B1	B2
40	60	C1	C2
60	40	D1	D2
80	20	E1	E2
100	0	F1	F2

sehingga kadar airnya menjadi $\leq 10\%$ dan dicacah hingga halus. Bahan abu terbang digiling hingga lolos ayakan 100 mesh. Penambahan bahan *binder* (resin epoksi) dibuat dengan variasi komposisi masing-masing sebesar: 10 dan 15% dari berat total bahan baku. Adapun komposisi abu terbang dan *sludge* dibuat dengan perbandingan: 100 : 0; 80 : 20; 60 : 40; 40 : 60; 20 : 80; dan 0 : 100 (dalam % berat), seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Prosedur fabrikasi beton polimer dilakukan dengan cara mencampur dan mengaduk bahan baku (*sludge*, abu terbang, dan resin epoksi) hingga homogen. Kemudian dicetak sesuai standar benda uji, seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Bentuk dan ukuran sampel uji berupa balok dengan dimensi: 40 x 40 x 160 mm. Setelah proses pencetakan benda uji, dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven, pada suhu 60 °C selama 7 jam, kemudian dilanjutkan dengan karakterisasinya.

Sifat fisis beton polimer yang diuji, antara lain: densitas, penyerapan air, *fire resistance*, kuat tekan dan kuat patah, dengan pengujian mengacu pada standar yang berlaku⁽¹⁰⁾. Sedangkan kecepatan pelindian (*leachet*) dianalisis dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan pengamatan struktur mikro

menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Besarnya densitas beton polimer (r_{PC}) diukur dengan menggunakan metode Archimedes, mengacu pada standar ASTM C 134 – 95. Pengukuran *water absorption* (WA) mengacu pada standar ASTM C 20 – 93. Untuk kuat tekan (s) dilakukan pengukuran dengan menggunakan *Ultimate Testing Machine* (UTM) dan kecepatan penekanan konstan sebesar 4 mm/menit, sesuai dengan standar ASTM C 469 – 94. Kuat patah (σ_p) dilakukan dengan metode tiga titik tumpu yang diukur dengan menggunakan UTM, mengacu pada ASTM C 133 – 97.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia pada *sludge* dari industri *pulp* dan kertas adalah: padatan 25% dan kadar air 75% dengan kandungan organik 78% dan anorganik 22%. Densitas *sludge* dari industri *pulp* dan kertas dengan kadar air 22% adalah berkisar 1,65 g/cm³. Pada kondisi ini bahan tersebut mempunyai nilai kalor rata-rata sebesar 3000 kkal/kg dengan *Gross Energy* (GE) = 4028 kkal/kg, dan Energi Metabolisme (EM) = 1611,2 kkal/kg⁽¹⁰⁾. Pada Tabel 2, ditunjukkan hasil analisis komposisi kimia *sludge* yang berasal dari salah satu industri *pulp* dan kertas. Pada Tabel 3, ditunjukkan hasil analisis abu terbang yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan benda uji beton polimer

Tabel 2. Hasil Analisis Komposisi Kimia *Sludge* dari Industri *Pulp* dan Kertas.

Parameter tidak berbahaya	Kandungan (% berat)	Parameter berbahaya (logam berat)	Kandungan (mg/kg)
Kadar air	22,00	Selenium (Se)	120,91
<i>Combustible material</i>	62,3 7	Seng (Zn)	18,61
<i>Ash content</i>	37,63	Krom (Cr)	4,76
Protein kasar (PK)	6,77	Tembaga (Cu)	2,39
Serat kasar (SK)	31,35	Timbal (Pb)	1,99
Lemak	2,32	Perak (Ag)	1,70
Karbohidrat	21,93	Cadmium (Cd)	0,13
Kalsium (Ca)	6,68	Air raksa (Hg)	Tidak terdeteksi
Phospor (P)	1,07	Arsen (As)	Tidak terdeteksi

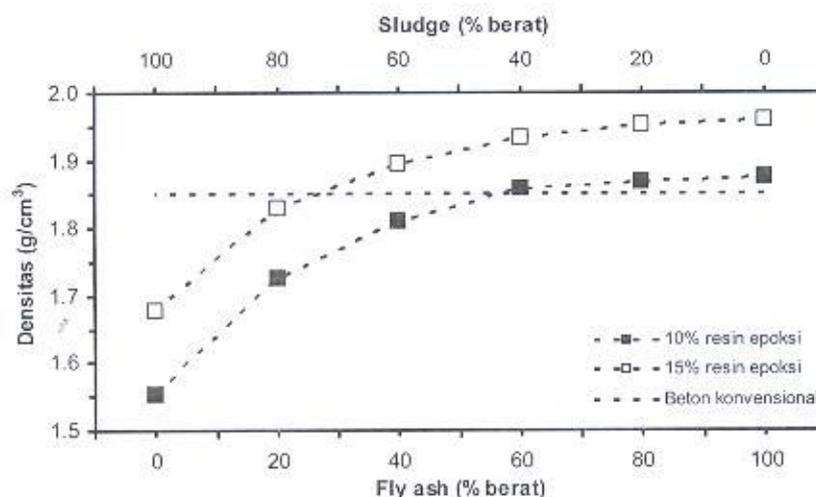
Berdasarkan hasil analisis kimia abu terbang (Tabel 3), komposisi yang dominan, seperti: silika, alumina, besi, dan kalsium. Sebagian besar komposisi-komposisi tersebut juga terdapat pada bahan semen, kecuali besi. Jadi penggunaan abu terbang sebagai bahan substitusi semen masih memungkinkan bila ditambahkan kapur (CaCO_3). Abu terbang mempunyai karakteristik: densitas sekitar 2,2-2,8 g/cm^3 dan ukuran butir sekitar 0,040-0,075 mm. Pengaruh penambahan abu terbang atau *sludge* terhadap densitas dari beton polimer diperlihatkan pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah resin yang ditambahkan maka densitas cenderung meningkat. Artinya proses solidifikasi berlangsung dan disertai dengan

Tabel 3. Hasil Analisis Kimia dari Abu Terbang

Komposisi	Kandungan (%)
SiO_2	59,4
Al_2O_3	24,7
Fe_2O_3	4,6
CaO	3,1
MgO	1,7
Na_2O	2,5
K_2O	0,5
SO_3	2,3
TiO_2	0,8
P_2O_3	0,4

terjadinya cairan resin mengisi rongga-rongga pada beton polimer. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa untuk penggunaan 15% resin epoksi sebagai *binder* pada beton polimer, dan penambahan abu terbang sebanyak

Gambar 2. Hubungan antara penambahan abu terbang atau *sludge* terhadap densitas pada beton polimer

> 40% atau penambahan *sludge* sampai 60% (berat) memberikan nilai densitas relatif lebih tinggi dari beton konvensional $1,85 \text{ g/cm}^3$ ⁽¹¹⁾. Sebagai contoh: untuk penggunaan 15% resin epoksi dan 60% *sludge* nilai densitas sekitar $1,93 \text{ g/cm}^3$, untuk 80% *sludge* nilai densitas turun menjadi $1,83 \text{ g/cm}^3$. Sedangkan untuk 10% resin epoksi dan jumlah *sludge* yang ditambahkan sampai 40% (berat), maka nilai densitasnya masih berada pada rentang nilai di atas beton konvensional. Apabila dilihat dari fungsi abu terbang berbanding lurus dengan solidifikasi dan berbanding terbalik efeknya pada penambahan *sludge*.

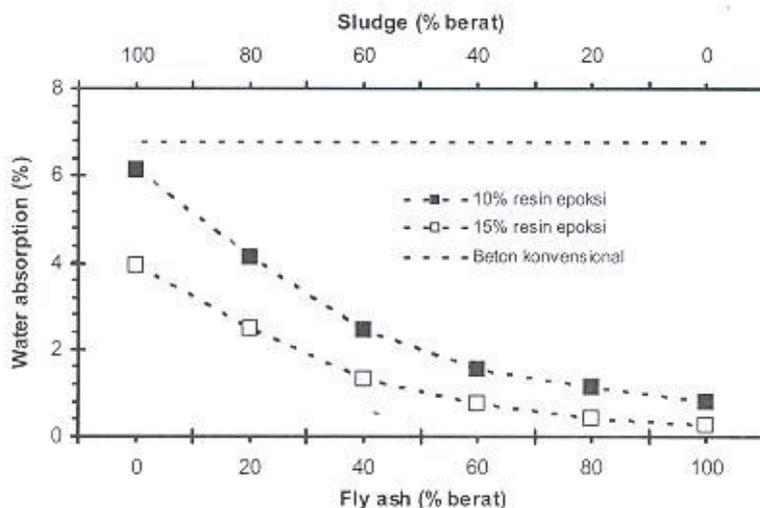
Hubungan antara penambahan abu terbang atau *sludge* terhadap daya serap air untuk pembuatan beton polimer diperlihatkan pada Gambar 3.

Nilai penyerapan air beton polimer yang diperoleh yaitu relatif lebih rendah dibandingkan dengan beton konvensional 6,77%⁽¹¹⁾, baik pada penambahan 10 dan 15% wt resin epoksi. Dengan demikian semakin rendah nilai penyerapan air yang diperoleh maka semakin sedikit air yang dapat merembes (berdifusi) ke dalam pori-pori beton polimer tersebut, dengan kata lain relatif lebih kedap dan tahan terhadap air. Nilai penyerapan air pada 15%wt resin epoksi diperoleh berkisar

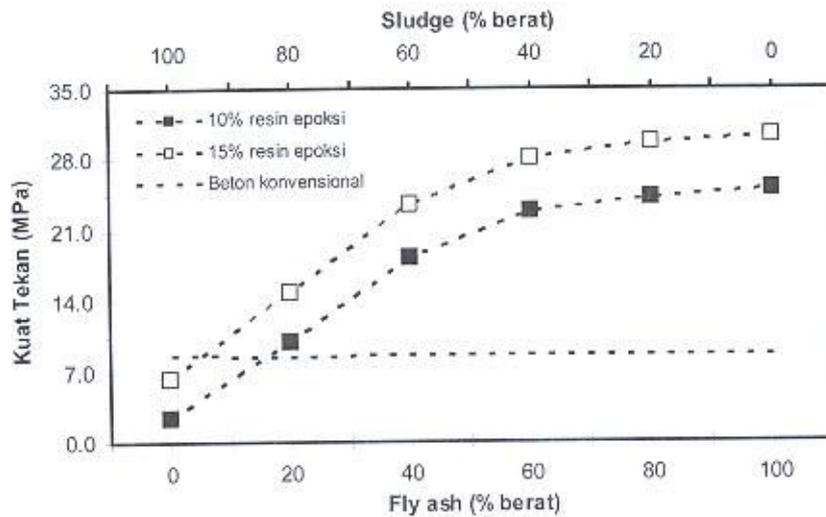
antara 0,2 – 4% dan pada 10% resin epoksi sekitar 0,8 – 6,2 %. Sedangkan apabila dilihat pengaruh penambahan abu terbang berfungsi untuk mengurangi pori dan sebaliknya *sludge* akan menambah jumlah pori pada beton polimer yang dihasilkan.

Pada Gambar 4, memperlihatkan pengaruh penambahan abu terbang atau *sludge* terhadap kuat tekan dari beton polimer yang masing-masing dengan menggunakan pengikat sebanyak 10 dan 15% resin epoksi.

Nilai kuat tekan pada beton polimer dengan menggunakan 15%wt resin epoksi berkisar antara 6,2 – 30,2 MPa, untuk 10%wt resin epoksi sekitar 2,4 – 25,1 MPa dan untuk beton konvensional sebesar 8,61 MPa⁽¹¹⁾. Ternyata penambahan abu terbang mampu meningkatkan kekuatan mekanik pada beton polimer yang dibuat, sebaliknya penambahan *sludge* dapat menurunkan kekuatan beton tersebut. Demikian juga halnya pengaruh pengikat resin epoksi dapat meningkatkan sifat mekanik. Apabila dilihat dari komposisi abu terbang - *sludge*, ternyata untuk 60% abu terbang dan 40% (berat) *sludge* merupakan kondisi optimum, karena diatas komposisi tersebut relatif tidak memberikan perubahan nilai yang signifikan.



Gambar 3. Hubungan antara penambahan abu terbang atau *sludge* terhadap daya serap air pada beton polimer

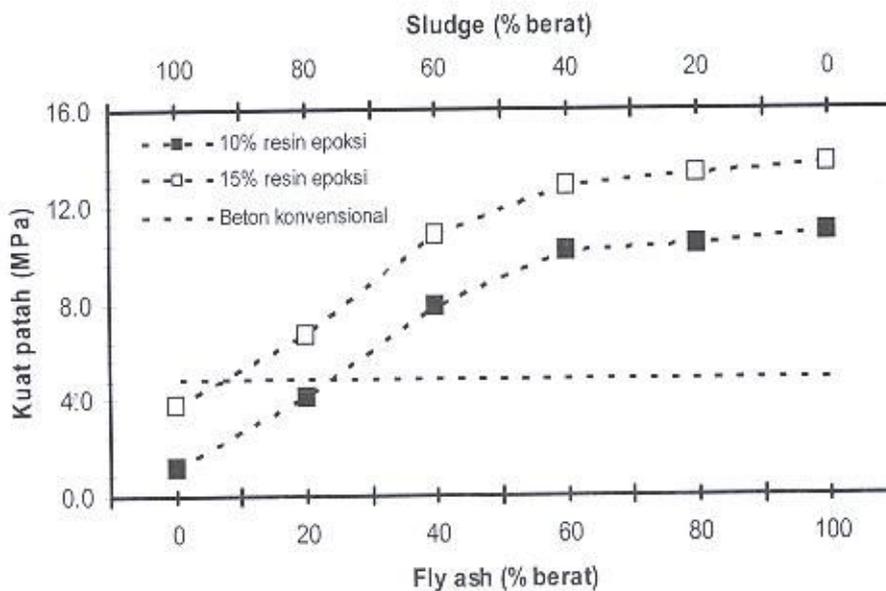


Gambar 4. Hubungan antara penambahan abu terbang atau *sludge* terhadap kuat tekan pada beton polimer

Pengaruh komposisi abu terbang - *sludge* terhadap kuat patah pada pembuatan beton polimer diperlihatkan pada Gambar 5. Besarnya nilai kuat patah dari beton polimer yang dibuat dengan menggunakan 15% resin epoksi adalah sekitar 3,8 – 13,7 MPa, untuk 10% resin epoksi berkisar 1,2 – 10,9 MPa dan untuk beton konvensional sebesar 4,9 MPa⁽¹⁾. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin banyak abu terbang yang digunakan pada beton polimer akan memberikan dampak positif terhadap besarnya kuat patah. Sebaliknya semakin banyak

limbah *sludge* yang digunakan cenderung menurunkan nilai kuat patah. Akan tetapi pada komposisi tertentu (abu terbang : *sludge* = 60 : 40% berat), besarnya kuat patah relatif tidak ada perubahan signifikan, artinya pada komposisi tersebut merupakan kondisi rekomendasi.

Hasil pengamatan *fire resistance* dari beton polimer menunjukkan bahwa material tersebut aman digunakan pada batas temperatur 60 °C secara kontinu dan tidak mudah terbakar karena mengandung bahan pengisi berupa abu terbang, tetapi kelemahannya terdapat pada material resin



Gambar 5. Hubungan antara penambahan abu terbang atau *sludge* terhadap kuat patah pada beton polimer

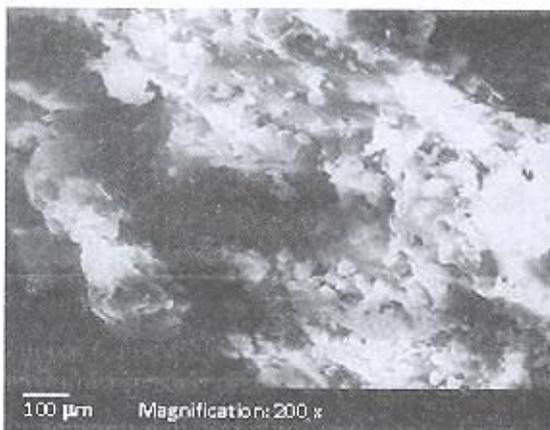
epoksi yang tidak tahan suhu tinggi. Oleh karena itu penggunaan beton polimer yang dihasilkan disarankan untuk suhu rendah atau pada bangunan yang terendam air atau di daerah rawan banjir. Selain itu, dalam penelitian ini telah membuktikan bahwa pemanfaatan limbah industri dalam hal ini adalah abu terbang dan *sludge* memberikan hasil uji yang cukup signifikan, sehingga dapat direkomendasikan dalam aplikasi konstruksi berupa material struktur. Dengan pemanfaatan limbah industri tersebut, beban lingkungan atau pencemaran udara, air, dan tanah, lebih dapat ditekan, sehingga jenis material ini dapat digolongkan sebagai material *sustainable*. Hal yang lebih signifikan adalah berkurangnya harga produksi bahan baku sehingga proses pembuatan material struktur tersebut akan lebih dapat bersaing di pasaran.

Pengamatan struktur mikro beton polimer untuk mengkonfirmasi kekuatan beton tersebut setelah dianalisis dengan menggunakan SEM, seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Dari gambar

tersebut terlihat bahwa campuran bahan baku yang digunakan telah terdistribusi merata pada pembuatan beton polimer. Pola yang dihasilkan menunjukkan bahwa warna putih merupakan resin dan warna abu-abu menyatakan agregatnya. Ternyata semakin banyak *micro filler* pada beton polimer maka cenderung menimbulkan bertambahnya pori karena resin epoksi sulit terdistribusi secara merata untuk mengisi pori-pori.

KESIMPULAN

Material beton polimer yang dibuat berbasis abu terbang - *sludge* dan menggunakan bahan pengikat resin epoksi relatif lebih baik daripada beton konvensional. Pembuatan beton polimer yang direkomendasikan adalah pada komposisi 60% abu terbang, 40% *sludge*, dan 15% (berat) resin epoksi dengan karakteristik: densitas = 1,93 g/cm³, penyerapan air = 0,74%, kuat tekan = 28 MPa, dan kuat patah = 12,8 MPa. Beton polimer yang dibuat layak untuk digunakan sebagai bahan bangunan terendam air atau daerah banjir dan tergolong sebagai beton ringan.



(a)



(b)

Gambar 6. Foto SEM beton polimer pada komposisi 60% abu terbang dan 40% *sludge*, (a) 10 % resin epoksi dan (b) 15 % resin epoksi

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Fakultas Peternakan IPB. 2002. *Pengaruh Pemberian Sludge Hasil Pengolahan IPAL PT IKPP Tangerang sebagai Campuran Bahan Pakan terhadap Perormans Ayam Boiler*. Bogor: Jurusan Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak.
- (2) Sebayang, Perdamean, dkk. 1995. "Teknologi Pengolahan Limbah Padat Berwawasan Lingkungan". Seminar Lustrum FMIPA - USU. Medan.
- (3) Tarigan, L. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan Terhadap Kesehatan*. Medan: Fakultas Kesehatan Masyarakat - USU.
- (4) Manurung, E.G.T. dan H.H. Sukaria. 2000. "Industri Pulp dan Kertas: Ancaman Baru terhadap Hutan Alam Indonesia". Jakarta.
- (5) Siagian, L.S. 2005. *Bahan Bangunan yang Ramah Lingkungan (Salah Satu Aspek Penting dalam Konsep Sustainable Development)*. Medan: Program Arsitektur, Fakultas teknik - USU.
- (6) Lubis, B. dan M. Lubis. 2005. "Pengaruh Penggunaan Bahan Admixture LSC 315 Terhadap Mutu Beton". *Buletin Utama Teknik*, 9 (2) Edisi Juli - Desember.
- (7) http://www.pu.go.id/pedoman_rumah_sederhana_sehat, 23/09/2008.
- (8) Reis, J.M.L. and A.J.M. Ferreira. 2004. "Assesment of Fracture Properties of Epoxy Polymer Concrete Reinforced with Short Carbon and Glass Fibers". *Construction and Building Materials*, 18 (7): 523-528.
- (9) Ferreira, A.J.M., Tavares C.M.L., and Ribeiro M.C.S. 2000. "Flectural Properties of Polyester Resin Concretes". *Journal of Polymer Engineering*, 20 (6): 459-468.
- (10) Muthukumar, M. and D. Mohan. 2005. "Studies on Furan Polymer Concrete". *Journal of Polymer Research*, 12: 231-241.
- (11) Sebayang, P. dkk. 2008. "Sintesa dan Perakayaan Beton Polimer untuk Enkapsulasi Limbah Padat Tanpa Menggunakan Semen". Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, ITS, Surabaya.