

## KOMPARASI KUAT TEKAN KOMPOSIT BERBAHAN DASAR SERBUK LIMBAH KACA DENGAN PEREKAT POLIMER POLYURETHANE DAN POLYVINYL ACETATE

MP Aji

Jurusan Fisika, FMIPA UNNES, Indonesia  
Gedung D7 lantai 2 Kampus Sekaran Semarang 50229

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Diterima 15 Agustus 2012  
Disetujui 28 September 2012  
Dipublikasikan Oktober 2012

Keywords:  
composite  
polyurethane  
polyvinyl acetate  
glass

### Abstrak

Komposit berbahan dasar serbuk limbah kaca telah dihasilkan dengan perekat polimer polyurethane (PU) dan polyvinyl acetate (PVAc). Komposit dengan perekat polimer PU memiliki kuat tekan 36 MPa dengan fraksi optimum perekat adalah 30% berat. Komposit dengan perekat polimer PVAc memiliki kuat tekan yang lebih rendah dari perekat polimer PU, yaitu 10 MPa pada fraksi perekat 10 persen berat. Gugus fungsi urethane yang terbentuk dari gugus fungsi isocyanat yang reaktif dan hidroksil menjadi perekat yang baik untuk limbah kaca yang didominasi oleh bahan silika ( $\text{SiO}_2$ ). Daya rekat polimer pada serbuk kaca ditentukan banyaknya kontak perekat dengan silika. Hasil uji kuat tekan diestimasi dengan persamaan sederhana. Hasil estimasi menunjukkan bahwa komposit dengan perekat polimer PU memiliki kontak dengan partikel limbah kaca lebih banyak dari perekat PVAc. Kontak perekat dengan serbuk kaca merepresentasi daya adhesif. Hasil ini didukung dari pengujian porositas komposit dimana perekat polimer PU dengan kontak partikel yang tinggi memiliki porositas yang jauh lebih rendah dari perekat polimer PVAc sehingga komposit dengan perekat polimer PU memiliki kuat tekan yang lebih baik.

### Abstract

Composite made from waste glass powder has been produced with polymer adhesive polyurethane (PU) and polyvinyl acetate (PVAc). Composites with a polymer adhesive PU has a compressive strength of 36 MPa with optimum adhesive fraction of 30% of weight. Meanwhile, polymer composite with PVAc adhesive has a lower compressive strength than PU adhesive polymer, that is 10 MPa at adhesive fraction of 10 percent of weight. Functional group of urethane formed from reactive isocyanate and hydroxyl is turning out to be a good adhesive for glass waste material dominated by silica ( $\text{SiO}_2$ ). Polymer adhesion on glass powder is determined by contact of adhesive with silica. Compressive strength test results are estimated with a simple equation. Estimation results show that composite with PU adhesive polymer has more contact with waste glass particles than PVAc adhesive. Adhesive contact with the glass powder represents adhesive power, this result was supported from the testing of composite porosity where PU adhesive polymer with high particle contacts has a much lower porosity than PVAc adhesive polymer, so composite with an PU adhesive polymer has a better compressive strength.

## Pendahuluan

Sampah bagi kota-kota urban di Indonesia menjadi satu permasalahan yang belum terselesaikan dengan baik hingga kini. Jumlah dan ragam sampah yang sangat banyak menjadi kendala bagi efektifnya pengelolaan sampah. Berbagai solusi telah diterapkan dalam penyelesaian permasalahan sampah seperti konsep daur ulang sampah dan pembenahan manajemen sampah. Namun, sampah masih saja menjadi permasalahan yang sangat kompleks dan kontinu.

Sampah anorganik seperti kaca-kaca bekas memiliki permasalahan yang lebih sulit karena limbah kaca tersebut tidak akan terurai secara alamiah. Sampah anorganik seperti limbah kaca tergolong dalam sampah yang belum dimanfaatkan dalam proses daur ulang. Dengan demikian diperlukan penanganan alternatif yang kreatif dan inovatif untuk menjadikan limbah kaca dapat dikembalikan ke alam secara aman atau mengolahnya kembali menjadi produk yang berdaya guna.

Kaca yang didominasi oleh bahan penyusun silika ( $\text{SiO}_2$ ) memiliki sifat unggul berupa titik lebur yang tinggi dan sifat mekanik yang sangat kuat, menjadikan limbah dari kaca tersebut memiliki potensi dan dipandang strategis sebagai bahan dasar komposit yang kuat (Masturi et al. 2011; Kumagai et al. 2009). Fokus bahasan yang dikaji adalah merekayasa limbah kaca dengan memanfaatkan teknologi komposit. Namun, teknologi tersebut membutuhkan perekat yang tepat untuk membentuk material yang kuat (Kinoshita et al. 2009). Masturi et al. (2011) melaporkan bahwa perekat polimer polyvinyl acetate (PVAc) dapat menghasilkan komposit yang kuat dengan bahan dasar limbah daun. Sementara, Isnaeni et al. (2010) menggunakan jenis polimer polyurethane (PU) sebagai perekat bahan anorganik partikel Titania ( $\text{TiO}_2$ ) pada benang nilon. Efektifitas penggunaan jenis perekat polimer PU dan PVAc untuk komposit dari limbah kaca menjadi fokus bahasan.

## Metode

Jenis sampah kaca yang digunakan dalam kajian adalah limbah kaca bening. Jenis kaca ini dipilih karena jumlahnya cukup banyak yang terdapat pada lingkungan. Untuk memperoleh homogenitas ukuran serbuk kaca, beragam limbah kaca tersebut digiling dengan perangkat ball milling selama 3 jam dan dilakukan proses penyaringan.

Massa total bahan penyusun komposit berupa limbah kaca dan polimer PU adalah 10 g. Untuk memperoleh komposisi optimum, fraksi massa polimer PU divariasikan dengan rentang 0-40 persen berat perekat polimer. Komposisi ini juga digunakan untuk perekat jenis polimer PVAc. Untuk setiap komposisinya, sampel komposit dicetak pada tekanan 5 ton selama 20 menit dan pada temperatur kamar.

Uji sifat mekanik berupa uji tekan dilakukan untuk memperoleh distribusi kekuatan tekan bahan komposit yang telah dihasilkan. Uji tekan dilakukan dengan perangkat Torse Tokyo Testing MFG Ltd. (ASTMC109M-02) di Laboratorium Teknik Sipil-ITB Bandung. Data kuat tekan diperoleh dari persamaan berikut.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

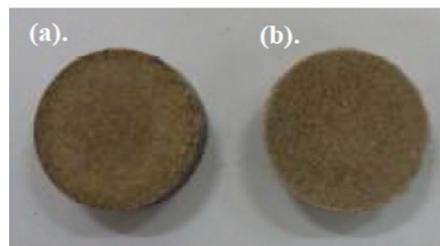
dengan  $F$  adalah maksimum gaya yang dibutuhkan hingga komposit hancur dan  $A$  adalah area efektif yang menjadi subjek tekan.

Di samping itu, uji porositas juga dilakukan untuk memperoleh informasi daya serap bahan komposit terhadap air dan digunakan pula untuk menganalisis kuat tekan komposit. Uji porositas dilakukan secara sederhana dengan mengukur massa kering ( $m_k$ ) dan basah ( $m_b$ ) dari bahan komposit. Secara kasar, besarnya porositas dapat dinyatakan dari persamaan berikut.

$$\phi(\%) = \frac{(m_b - m_k) / \rho_f}{V_{total}} \times 100\% \quad (2)$$

## Hasil dan Pembahasan

Komposit serbuk limbah kaca dengan perekat polimer PU dan PVAc ditunjukkan pada Gambar 1. Dengan pengamatan sederhana, komposit serbuk kaca dengan perekat polimer PU memiliki morfologi pori-pori yang lebih rapat jika dibandingkan dengan jenis perekat polimer PVAc.

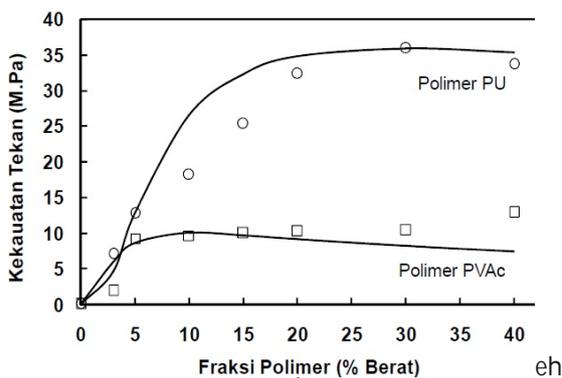


Gambar 1. Komposit serbuk limbah kaca dengan perekat polimer (a). PU dan (b). PVAc.

Distribusi kuat tekan komposit untuk perekat polimer PU dan PVAc ditunjukkan pada Gambar 2. Kuat tekan meningkat dengan jumlah fraksi massa perekat dalam komposit hingga mencapai nilai optimum kuat tekan.

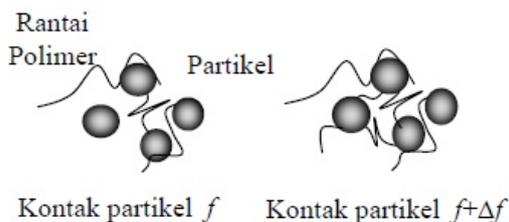
Komposit dengan perekat polimer PU memiliki kekuatan tekan yang cukup tinggi hingga mencapai orde 36 MPa. Daya adhesif yang sangat baik menjadikan komposit limbah kaca dengan perekat polimer PU memiliki kekuatan tekan lebih baik dibandingkan perekat polimer PVAc yang hanya memiliki kekuatan tekan pada orde 10 MPa.

Kuat tekan optimum yang dimiliki komposit serbuk kaca dengan perekat polimer PU masih lebih rendah dari jenis komposit dengan bahan dasar sampah organik, seperti yang dilaporkan Masturi et al. (2011) bahwa kuat tekan sampah daun dapat mencapai 45,6 MPa sedangkan Kumagai et al. (2009) melaporkan bahwa komposit dari limbah tanaman dapat mencapai kuat tekan yang optimum pada orde 55.7 MPa.



Gambar 2. Kuat tekan komposit serbuk kaca dengan perekat polimer PU dan PVAc

banyaknya kontak antara partikel dan perekatnya. Sehingga, semakin tinggi fraksi kontak partikel dengan perekat maka kekuatan komposit dapat meningkat. Secara sederhana, fraksi kontak partikel dengan perekat polimer dapat diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi kontak antara partikel dengan perekat polimer.

Kehadiran perekat polimer sebagai perekat pada bahan dasar komposit serbuk limbah kaca membawa perubahan pada kontak partikel antara polimer dan partikel kaca. Kenaikan fraksi perekat polimer akan meningkatkan kontak partikel hingga mencapai kondisi optimum, yaitu pada kuat tekan komposit yang tertinggi. Bila diasumsikan bahwa serbuk kaca memiliki kondisi optimum pada konsentrasi perekat  $C_0$  dengan kontak partikel  $f_0$ , maka probabilitas kontak partikel pada konsentrasi perekat  $C$  adalah

$$f - f_0 \propto \exp \left[ -\alpha \left( \frac{1}{C^{1/3}} - \frac{1}{C_0^{1/3}} \right)^2 \right] \quad (3)$$

dengan parameter merepresentasi konstanta kontak partikel polimer dan partikel pada komposit.

Adanya perubahan kontak partikel mengakibatkan perubahan struktur pada komposit. Bila diasumsikan fraksi perekat polimer adalah  $v_p = 1 - v_m$  dengan  $v_m$  adalah fraksi matrik komposit, yaitu serbuk kaca. Probabilitas perubahan struktur akibat kehadiran perekat polimer pada matrik komposit dapat diestimasi dengan persamaan:

$$P(f) \propto \exp(-\beta v_p^{-2/3}) \quad (4)$$

Kehadiran perekat polimer membawa dua perubahan secara simultan yaitu, jumlah kontak partikel dan struktur komposit. Kuat tekan komposit dipengaruhi oleh jumlah kontak partikel dan struktur komposit. Dengan demikian kuat tekan komposit dapat dinyatakan sebagai paduan probabilitas pada persamaan (3) dan (4), sehingga dapat dinyatakan dalam persamaan 5.

$$\sigma = \sigma_0 \exp[-\beta v_p^{-2/3}] \exp \left[ -\alpha \left( \frac{1}{C^{1/3}} - \frac{1}{C_0^{1/3}} \right)^2 \right] \quad (5)$$

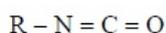
Hasil komparasi model pada persamaan (5) dan hasil eksperimen untuk komposit serbuk kaca dengan perekat polimer PU dan PVAc ditunjukkan pada Gambar 1 dengan garis padat merupakan pendekatan model. Persamaan model memiliki perilaku yang sesuai dengan eksperimen. Parameter yang digunakan untuk estimasi hasil eksperimen ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter komposit

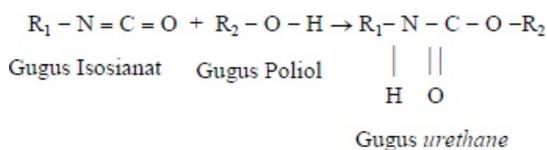
Jenis Perekat	$\sigma_0$	$\beta$	$\alpha$
Polimer PU	36	0.01	15
Polimer PVAc	10	0.01	10

Komposit serbuk kaca dengan perekat polimer PU memiliki konstanta kontak partikel yang lebih tinggi dari polimer PVAc. Hasil ini dapat mendukung untuk mendeskripsikan bahwa komposit dengan perekat polimer PU memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi.

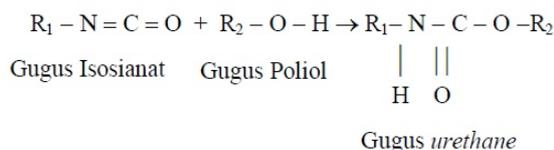
Perekat polimer PU memiliki daya adhesif yang tinggi disebabkan adanya gugus fungsi isosianat yang sangat reaktif dan mampu membentuk ikatan kimia (chemical bonding) yang sangat kuat bila bereaksi dengan gugus hidroksil (OH) seperti air, alkohol, amino, dan jenis senyawa organik poliol yang kaya akan gugus OH. Gugus fungsi isosianat yang bersifat reaktif ditentukan oleh atom karbon dan nitrogen yang memiliki ikatan rangkap:



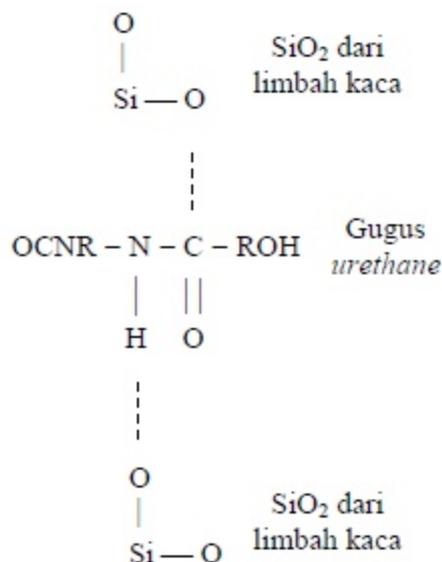
Gugus fungsi isosianat merupakan monomer utama pembentuk polimer PU. Polimer PU yang digunakan sebagai perekat limbah kaca dihasilkan dari paduan gugus fungsi isosianat dan senyawa organik poliol dengan perbandingan 3:10. Pembentukan polimer PU ditunjukkan pada mekanisme reaksi berikut ini.



Gugus hidroksil pada senyawa poliol yang lebih dari satu mampu meningkatkan sifat hidrofil untuk menghasilkan senyawa baru dan kemudian dapat pula bereaksi dengan gugus lainnya. Reaksi gugus isosianat dengan kumpulan gugus hidroksil akan membentuk jaringan ikatan uretan (urethane linkage) yang memungkinkan kontak antara partikel dengan perekat semakin banyak dan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Chen et al. (2009)

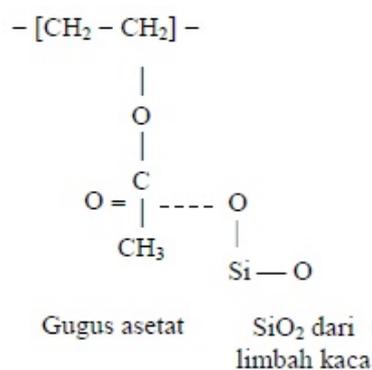


melaporkan bahwa gugus aktif dalam matrik polimer PU yang berinteraksi dengan kehadiran silika adalah gugus karbon dan amino. Pada Gambar 4 diilustrasikan interaksi yang dapat terjadi antara silika dari limbah kaca dan perekat polimer PU.



Gambar 4. Interaksi gugus urethane dengan SiO<sub>2</sub> limbah kaca.

Untuk perekat PVAc, gugus asetatnya hanya memiliki satu ikatan rangkap yaitu karbon. Interaksi yang mungkin terjadi antara perekat PVAc dan limbah kaca yang didominasi unsur SiO<sub>2</sub> adalah interaksi atom C dan O, seperti diilustrasikan pada Gambar 5.

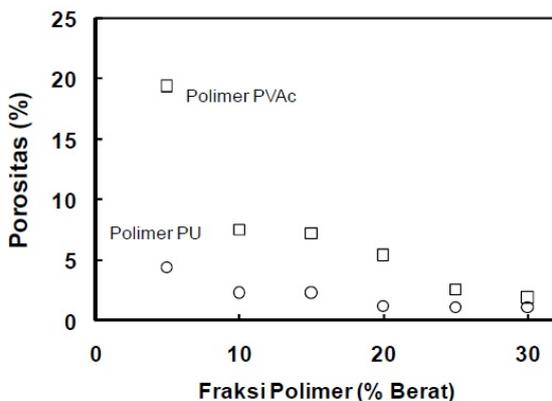


Gambar 5. Interaksi atom C dari gugus asetat dengan atom O dari SiO<sub>2</sub> limbah kaca.

Hasil ini mampu mendeskripsikan bahwa komposit dengan perekat PVAc memiliki kuat tekan yang lebih rendah dari komposit dengan perekat polimer PU. Gugus urethane dari perekat polimer PU mampu berinteraksi

dengan partikel  $\text{SiO}_2$  lebih banyak dari interaksi oleh gugus asetat dari PVAc.

Jumlah kontak partikel yang berbeda untuk tiap jenis perekat akan mengakibatkan berkurangnya celah antar partikel dalam komposit sehingga daya serap air (porositas) akan menurun. Hasil ini sesuai dengan hasil pengukuran porositas komposit untuk perekat polimer PU dan PVAc dan semen, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Komposit dengan perekat polimer PU yang memiliki kekuatan tekan tinggi, porositasnya lebih rendah dari perekat polimer PVAc dan semen. Dengan demikian komposit dengan perekat polimer PU memiliki daya adhesif yang baik untuk mendukung kuat tekan komposit.



Gambar 6. Distribusi porositas komposit untuk perekat polimer PU dan PVAc

#### Simpulan

Bahan komposit dari limbah kaca telah dihasilkan dengan perekat polimer polyurethane dan polyvinyl acetate. Kuat tekan komposit dengan perekat polimer polyurethane lebih tinggi dari perekat polimer polyvinyl acetate. Dari estimasi dengan persamaan model, polimer polyurethane memiliki kontak yang lebih baik dengan partikel limbah kaca. Porositas

komposit dengan perekat polimer polyurethane lebih dari jenis perekat polimer polyvinyl acetate mendukung bahwa komposit dengan perekat polimer polyurethane memiliki daya adhesif yang baik untuk menghasilkan kuat tekan komposit berbahan dasar limbah kaca.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Mikrajuddin Abdullah yang mendukung pelaksanaan eksperimen dan pengembangan model.

#### Daftar Pustaka

- Masturi, Abdullah M. & Khairurrija. 2011. High Compressive strength of home waste and polyvinyl acetate composites containing silica nanoparticle filler. *J Mater Cycles Waste Manag* 13: 225–231.
- Kumagai S. & Sasaki, J. 2009. Carbon/Silica composite fabricated from rice husk by means of binderless hot-pressing, *Bioresource Technol* 100: 3308–3315.
- Kinoshita H, Kaizu K, Fukuda M, Tokunaga H, Koga K. & Ikeda K. 2009. Development of green composite consists of woodchips, Bamboo Fibers and Biodegradable Adhesive. *Composites: Part B* 40: 607–612.
- Isnaini VA, Amalia IF, Aliah H, Arutanti O, Masturi, Nuryadin BW, Abdullah M, & Khairurrijal. 2010. A Novel method for synthesis of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles-coated plastic fibers using a sound vibration and the use of coated fibers as photocatalytic materials for decomposing of organic pollutant in water under sunlight illumination" dalam *AIP Conference Proceedings* 1284: The Third Nanoscience and Nanotechnology Symposium Editor oleh Mikrajuddin Abdullah et al, hal: 134-137.
- Chen JJ, Zhu CF, Deng HT, Qin ZN, & Bai YQ. 2009. Preparation and characterization of the waterborne polyurethane modified with nanosilica, *J Polym Res* 16: 375–380.