

EFEK TERMAL DAN BAHAN PENGGANDENG (*COUPLING AGENT*) *SILANE* TERHADAP KESTABILAN MEKANIK BAHAN KOMPOSIT POLIESTER DENGAN PENGISI PARTIKULIT SiC

Mashuri

Jurusan Fisika, FMIPA - ITS
Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya 60111

ABSTRAK

EFEK TERMAL DAN BAHAN PENGGANDENG (*COUPLING AGENT*) *SILANE* TERHADAP KESTABILAN MEKANIK BAHAN KOMPOSIT POLIESTER DENGAN PENGISI PARTIKULIT SiC.

Telah dilakukan pembuatan dan kajian kestabilan mekanik bahan komposit poliester dengan pengisi partikulit SiC (dengan dan tanpa pelapisan *Silane*) dengan variasi konsentrasi 2,5 % v/v, 5,0 % v/v, 7,5 % v/v, 1,0 % v/v dan 12,5 % v/v. Kestabilan mekanik dilakukan pada suhu 30 °C, 60 °C, 90 °C dan 150 °C untuk komposisi SiC 7,5 % v/v. Hasil menunjukkan peningkatan ikatan adesi antar muka (*interface*) matriks poliester dengan pengisi partikulit SiC oleh bahan penggandeng (*coupling agent*) *silane* dapat meningkatkan nilai *tensile strength* dan modulus elastisitas untuk konsentrasi SiC hingga 7,5 % v/v *silane* sebagai bahan penggandeng dapat meningkatkan nilai *tensile strength* (σ), sebesar 2,11 MPa dan nilai modulus elastisitas (E) sebesar 0,60 MPa dari bahan komposit poliester dengan partikulit SiC (7,5 % v/v). Bahan komposit tersebut telah mengalami perbaikan ikatan adesi antar muka dengan bahan *silane* mengalami penurunan nilai *tensile strength* yang lebih kecil pada suhu pemanasan antara 30 °C hingga 150 °C dibanding dengan pengisi SiC tanpa *silane*. Hal ini menunjukkan komposit poliester dengan SiC (7,5 % v/v) + *silane* mempunyai kestabilan mekanik yang lebih baik pada perlakuan pemanasan.

Kata kunci : Komposit, Ikatan antar muka, Bahan penggandeng

ABSTRACT

THE THERMAL EFFECTS AND SILANE COUPLING AGENT ON MECHANICS STABILITY OF POLYESTER FILLED SiC PARTICLES COMPOSITES MATERIALS.

Synthesis and study on mechanics stability of Polyester filled SiC particles composite (no and coatings by Silane) with concentration 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 and 12.5 % v/v has been done. The stability mechanics of composite by treatment 1 hour on temperature 30, 60, 90 and 150 °C for concentration SiC 7.5 % v/v. The result showed that adhesion on interface could increasing tensile strength and young modulus of composite up to 7.5% v/v SiC concentration. The increasing adhesion on interface could increasing of tensile strength 2,11 MPa and young modulus 0,60 MPa for composite poliester filled particle SiC 7,5 % v/v. Polyester-SiC(7,5 % v/v) + silane composite has been smaller degradating of tensile strength when by treatment on 30-150°C with SiC no coatings Silane. It is showed that composite polyester filled SiC (7,5 % v/v) with coatings Silane have high stability on thermal treatment.

Key words : Composite, Interface, Coupling agent

PENDAHULUAN

Polimer merupakan bahan yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, sesuai dengan laju pertumbuhan kebutuhan dalam bidang industri manufaktur, konstruksi, otomotif. Polimer atau bahan plastik mempunyai sifat ringan, mudah dibentuk, tahan terhadap korosi lingkungan air, tahan lama dan relatif murah dibanding bahan logam. Polimer mempunyai kelemahan sifat mekanik dimana mudah mulur dan kekakuan yang relatif rendah, ketahanan

panas yang buruk, mudah retak jika mendapat tegangan luar, kurang tahan terhadap zat pelarut dan kekerasan yang kurang.

Untuk keperluan bahan yang mengutamakan sifat kekuatan, maka polimer tidak menjadi pilihan utama. Untuk menjadikan polimer yang mempunyai sifat lebih kuat maka perlu diberi bahan penguat. Rekayasa bahan polimer dengan perpaduan bahan penguat dari jenis bahan yang berbeda dan sifat bahan

merupakan perpaduan dari sifat-sifat bahan penyusunnya disebut bahan komposit matriks polimer [1].

Bahan komposit polimer tersusun oleh polimer sebagai matriks dan bahan jenis logam atau keramik yang dicampurkan sebagai pengisi. Beberapa alasan dipergunakan bahan pengisi dalam komposit antara lain memperbaiki konduktivitas dan difusivitas termal, meningkatkan konduktivitas listrik dan permeabilitas magnetik, mereduksi terjadinya *creep*, mereduksi internal *stress*, memperbaiki penampilan produk akhir dan memperbaiki sifat mekanik. Sifat akhir bahan komposit yang dihasilkan sangat bergantung pada karakteristik bahan pengisinya, yang meliputi konsentrasi, jenis, bentuk dan ukuran, distribusi partikel pengisi dan terbentuknya ikatan antar muka bahan matriks dengan pengisi [1-3].

Penelitian yang mengkaji sifat mekanik telah dilakukan percobaan pengukuran kebergantungan kekuatan tarik, tegangan luluh, regangan patah serta modulus elastisitas pada variasi konsentrasi bahan pengisi. Hasil menunjukkan bahwa bahan pengisi berperan menurunkan tegangan luluh, kekuatan tarik dan regangan patah tetapi meningkatkan modulus elastisitas.. Sedangkan ukuran partikel pengisi yang makin membesar akan menurunkan regangan patah, yang disebabkan oleh pembentukan sobekan (*craze*) awal pada ikatan antar muka matriks dengan pengisi [4,5].

Pada penelitian yang dijelaskan di atas, upaya perbaikan sifat mekanik dengan melakukan upaya perlakuan awal pada bahan matriks maupun pengisi belum dilakukan sehingga ikatan adesi antar muka matrik pengisi belum terbentuk secara sempurna sehingga akibatnya, transfer tegangan antar fasa terhambat dan terjadi pengumpulan tegangan di daerah antar muka matriks dengan pengisi. Hal ini mengakibatkan terbentuknya *craze* yang berawal dari daerah antar muka.

Sedangkan ikatan kontak antar muka antara matrik dan pengisi dalam bahan komposit dapat terbentuk dengan cara ikatan secara mekanik (*interlocking*), gaya van der Waals, ikatan kimia (menggunakan bahan penggandeng - *coupling agent*). Ikatan kimia yang terjadi antara bahan penggandeng dengan bahan pengisi dan matrik dengan mekanisme grup kimia dari penggandeng bereaksi dengan grup kimia dari matrik maupun pengisi. Salah satu bahan penggandeng yang mempunyai kinerja yang baik terhadap sifat mekanik bahan komposit adalah bahan *silane* [6-9].

Dalam makalah ini dilaporkan hasil kajian pengaruh pemberian *agent* penggandeng terhadap sifat mekanik komposit resin poliester dengan penguat bahan partikulit silikon karbida (SiC). Selanjutnya mengkaji pengaruh efek termal terhadap kestabilan mekanik komposit dimana ikatan antar muka (*interface*) pada

matriks dengan pengisi telah dilakukan perbaikan. Perbaikan ikatan antar muka pada penelitian ini menggunakan bahan *coupling agent* dari bahan *silane*.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Resin poliester (Yukalac 157 BQTN-EX) sebagai bahan matriks dengan sifat fisis densitas 1,215 g/cm³, titik leleh 170 °C, serapan air 0,118% (24 jam), *tensile strength* 5,5 kg/mm², modulus elastisitas 300 kg/mm² dan perpanjangan putus 1,6%.

Partikulit SiC (silikon karbida) sebagai bahan pengisi (*filler*) dengan sifat fisis densitas 2,9 g/cm³, titik leleh 2837 °C, ukuran partikulit 180 Mesh, modulus elastisitas 400 Gpa dan koefisien muai termal 8493 W/mK.

Katalis untuk bahan pemercepat proses pembekuan dan *silane* dari jenis *Dichloride* (C₁₄H₂₀Cl₂HSi₂) sebagai bahan penggandeng (*coupling agents*).

Wax (*release agent*) sebagai bahan pelumas untuk melapisi cetakan agar setelah proses *curing* hingga sampel tidak melekat pada cetakan dan mudah dilepas. PVA (polivinil alkohol) sebagai pelumas setelah cetakan diberi *Wax* dengan ketahanan panas yang tinggi. *Aquadest* yang berfungsi sebagai pencampur *silane* sebelum dilapiskan pada SiC.

Pembuatan dan Pengujian Sampel Bahan Komposit

Pelapisan SiC dengan Bahan Penggandeng

Silane dihidrolisis ke dalam larutan air dengan konsentrasi 6 %v/v kemudian partikulit SiC dimasukkan ke dalam larutan *silane* tersebut dan didiamkan dalam suhu ruang selama 60 menit. Memisahkan air dari larutan *silane* dan SiC dengan memanaskan pada *stirring* magnetik pada suhu 100 °C sehingga terjadi reaksi hidrolisis lengkap antara gugus silanol dari bahan penggandeng *silane* dengan permukaan hidroksil dari partikulit. Setelah kandungan airnya habis menguap, serbuk endapan partikulit SiC dikeringkan dalam *furnace* selama 15 menit.

Pembuatan Bahan Komposit

Menyediakan, mencampur dan mengaduk bahan resin dan *filler* partikulit SiC (dengan dan tanpa pelapis *silane*) dengan variasi konsentrasi SiC 2,5 %v/v, 5 %v/v, 7,5 %v/v, 10 %v/v dan 12,5 %v/v selama 10 menit dan ditambahkan katalis, berikutnya dimasukkan ke dalam cetakan yang disesuaikan dengan standar sampel uji mekanik ASTM D638-72. Cetakan sebelumnya telah diolesi dengan *Wax* dan PVA sebagai *release agent* agar sampel mudah dilepas dari cetakan.

Sampel dibiarkan membeku pada pendinginan suhu kamar selama 45 menit, disini adanya katalis diharapkan mempercepat proses pembekuan. Sampel bahan komposit berikutnya dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan pemanasan dalam *furnace* dengan variasi 30 °C, 60 °C dan 90 °C, masing-masing selama 1 jam dan didinginkan secara perlahan hingga pada suhu ruang dan siap untuk dilakukan pengujian.

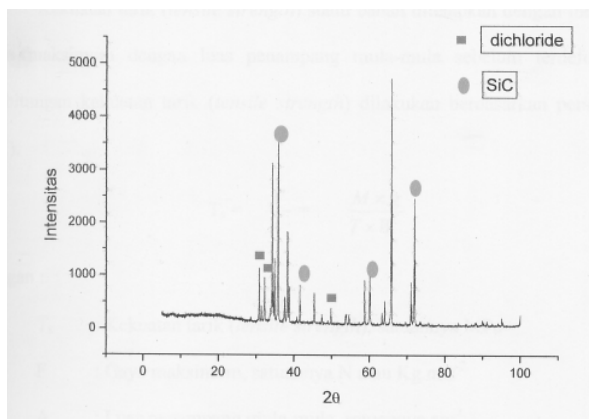
Pengujian

Untuk mengamati keberhasilan pelapisan partikulit SiC sebagai bahan *filler* dengan *silane* dilakukan pengujian dengan alat *X-Rays Diffractometry (XRD)* merek Shimadzu 6000. Sifat kekuatan tarik bahan komposit (sebelum dan setelah mengalami pemanasan) diuji dengan alat uji tarik merek Autograph Ag-10TE Shimadzu tipe ASTM D638-72. Perubahan morfologi bahan komposit yang telah mengalami pemanasan dilakukan pemotretan dengan alat *Microscope Optic* merek Nikon tipe FX-35.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peranan Perbaikan Ikatan Antar Muka (*Interface*) Matriks dengan Pengisi Terhadap Sifat Mekanik Komposit

Perbaikan ikatan kontak antar muka (*interface*) antara partikulit SiC dengan matriks resin poliester dilakukan dengan menggunakan bahan *silane*. Untuk mengamati pelapisan *silane* sebagai bahan penggendeng pada partikulit SiC dilakukan dengan mengamati fasa-fasa yang terbentuk dengan menggunakan alat *XRD*. Difraktogram hasil pengujian dari partikulit SiC yang terlapsi *silane* ditunjukkan pada Gambar 1. Difraktogram menunjukkan adanya bahan *silane* yang melapsi SiC, dimana *dichloride* ditunjukkan oleh puncak (*peak*) yang mempunyai nilai intensitas antara 400-1300 *counts* pada jangkauan 2θ antara 30 hingga 50 derajat. Hal ini menggambarkan



Gambar 1. Difraktogram XRD bahan partikulit SiC yang terlapsi bahan *silane*

keberhasilan proses pelapisan SiC dengan bahan penggendeng *silane* terjadi dengan baik sehingga diharapkan pada saat digunakan sebagai *filler* ikatan antar muka matriks dengan pengisi dapat berlangsung dengan lebih optimal.

Untuk mengamati seberapa jauh peranan bahan *silane* sebagai bahan penggendeng dalam perbaikan ikatan antar muka antara matriks poliester dan pengisi partikulit SiC dalam bentuk komposit dilakukan pengujian kekuatan tarik dengan mengambil komposisi SiC sebesar 2,5 % v/v, 5 % v/v, 7,5 % v/v, 10 % v/v dan 12,5 % v/v dengan dan tanpa mengalami pelapisan bahan penggendeng. Data-data hasil uji tarik yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji kekuatan tarik komposit poliester-SiC (dengan dan tanpa *silane*)

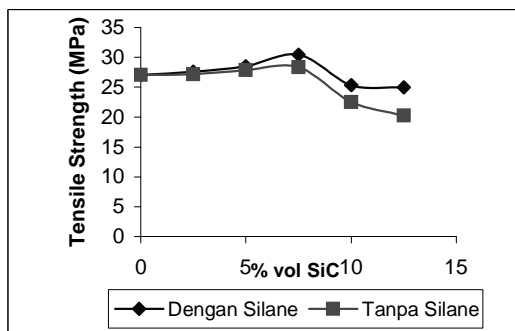
No	Konsentrasi SiC (% volume)	Tensile Strength (MPa)		Modulus Elastisitas (MPa)	
		Dengan Silane	Tanpa Silane	Dengan Silane	Tanpa Silane
1.	0	27,1	27,1	11,44	11,44
2.	2,5	27,56	27,2	53,62	53,10
3.	5,0	28,49	27,86	55,49	54,85
4.	7,5	30,45	28,34	57,85	57,25
5.	10,0	25,35	22,55	55,2	52,35
6.	12,5	24,96	20,25	54,53	50,32

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan Gambar 2 diketahui bahwa semakin meningkatnya konsentrasi partikulit SiC sebagai pengisi hingga 7,5 % v/v, dapat meningkatkan kekuatan tarik (*tensile strength*) tetapi untuk konsentrasi di atas 7,5 % v/v nilai *tensile strength* komposit mengalami penurunan. Peningkatan yang terjadi diakibatkan kontribusi nilai *tensile strength* SiC masih memberikan dampak konstruktif terhadap kekuatan tarik komposit. Potensi kelemahan mekanik pada ikatan kontak antar muka antara SiC sebagai pengisi dengan Poliester sebagai matriks masih dapat tereduksi yang disebabkan oleh sedikitnya luasan kontak yang terbentuk karena konsentrasi yang masih rendah dan sebaran SiC yang seragam (tersebar secara merata).

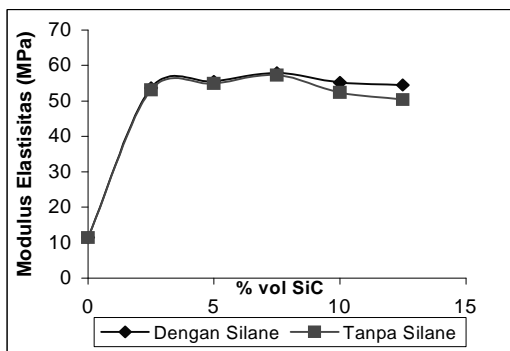
Keadaan sebaliknya terjadi pada konsentrasi SiC di atas 7,5 % v/v, penurunan nilai *tensile strength* komposit terjadi karena luasan kontak permukaan matriks dengan pengisi yang lebih besar dikarenakan jumlah konsentrasi SiC yang banyak dan kurang meratanya sebaran SiC dalam matriks. Kelemahan mekanik ini menyebabkan tidak dapat tereduksinya beban tarik ketika komposit mendapatkan gaya tarik dari luar.

Nilai modulus elastisitas dari komposit Poliester dengan pengisi partikulit SiC meningkat dengan meningkatnya konsentrasi SiC sebagai pengisi hingga 7,5 % v/v dan terjadi penurunan pada konsentrasi SiC di atas 7,5 % v/v seperti Gambar 3. Fenomena mekanik ini dikarenakan sebagai konsekuensi dari peningkatan dan penurunan nilai *tensile strength* komposit.

Bila dibandingkan antara komposit dengan pengisi SiC tanpa mengalami pelapisan dan dengan pelapisan *silane* menunjukkan nilai *tensile strength* dan modulus elastisitas yang dimiliki komposit dengan pengisi SiC yang telah dilapisi dengan *silane* mempunyai nilai yang lebih tinggi, seperti yang ditunjukkan Gambar 2 dan Gambar 3. Peningkatan nilai *tensile strength* dan modulus elastisitas yang paling tinggi terjadi pada komposisi partikulit SiC sebesar 7,5 %v/v, tetapi perbedaannya tidak terlalu besar atau signifikan, dan data ini menggambarkan bahwa keberadaan *silane* sebagai bahan penggandeng dapat meningkatkan ikatan adesi antar muka (*interface*) dengan mekanisme peningkatan ikatan adesi antara partikulit SiC dengan matrik poliester. Keadaan ini diharapkan kelemahan mekanik yang terjadi pada bagian kontak matriks dengan pengisi dapat direduksi pada saat bahan komposit mendapatkan beban tarikan dari luar.



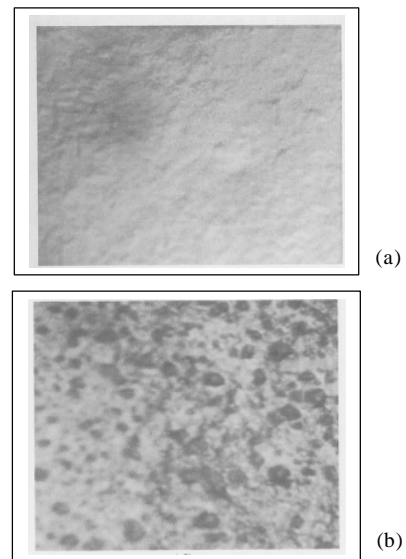
Gambar 2. Tensile strength komposit poliester-SiC



Gambar 3. Modulus elastisitas komposit poliester-SiC

Efek Termal Terhadap Morfologi dan Kekuatan Tarik Komposit

Morfologi dari bahan Poliester dan komposit Poliester-SiC(7,5 %v/v)+*silane* sebelum mengalami proses pemanasan ditunjukkan Gambar 4. Morfologi matriks poliester yang ditunjukkan Gambar 4a, memperlihatkan struktur yang padat dan rata serta tidak adanya porositas berupa gelembung, hal ini menunjukkan bahwa proses pembekuan dari bahan resin Poliester berlangsung dengan sempurna. Gambar 4b, menunjukkan morfologi dari bahan komposit Poliester-SiC(7,5 % vol)+Silane yang belum mengalami



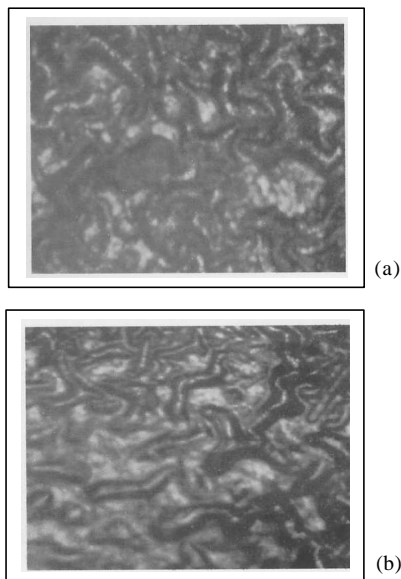
Gambar 4. Morfologi poliester (a) dan komposit poliester+SiC (7,5 %v/v) (b) yang tidak mengalami pemanasan, 500 kali.

proses pemanasan. Keberadaan partikulit SiC sebagai pengisi diperlihatkan partikulit warna hitam dan terlihat partikulit SiC telah tersebar secara merata dalam matrik Poliester. Pada komposit tersebut juga tidak adanya porositas pada matriks yang digambarkan berupa bentuk gelembung, hal ini menggambarkan proses pembuatan komposit berlangsung dengan baik dengan minimalnya potensi kelemahan mekanik yang diakibatkan oleh porositas sehingga sifat kekuatan tarik bahan komposit akan baik.

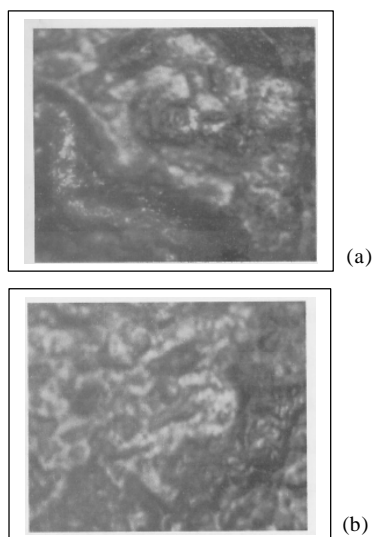
Termal merupakan salah satu bentuk energi yang dapat menyebabkan perubahan struktur dan sifat fisis maupun mekanik yang dimiliki suatu bahan apabila bahan tersebut mendapatkan perlakuan termal. Pemanasan merupakan bentuk perlakuan termal terhadap suatu bahan. Efek termal yang diakibatkan oleh pemanasan juga dapat terjadi pada bahan komposit.

Pada struktur komposit efek termal ditanggung oleh bahan matrik dan pengisi, dimana keduanya terbuat dari jenis bahan yang berbeda sehingga efek termal yang terjadi pada komposit merupakan perpaduan perubahan struktur yang dialami oleh bahan matriks dan pengisi.

Gambar 5 dan 6 merupakan morfologi dari bahan komposit poliester dengan SiC (7,5 %v/v)+*silane* yang mengalami pemanasan selama 1 jam pada suhu 30 °C, 60 °C, 90 °C dan 150 °C. Efek termal yang diakibatkan oleh pemanasan menyebabkan kecenderungan bahan partikulit SiC untuk menyatukan diri namun tidak beraglomerasi melainkan berupa bentuk koloni-koloni panjang seperti ulat. Keadaan disebabkan oleh perubahan struktur dari matriks poliester yang memuai dan densitas dari partikulit SiC yang lebih tinggi. Efek pemanasan pada suhu 30°C dan 60 °C (Gambar 5) belum mengakibatkan putusannya ikatan antar muka oleh *silane*, ini diakibatkan karena poliester hanya mengalami sedikit



Gambar 5. Morfologi komposit poliester+SiC (7,5 %v/v) + silane yang mengalami pemanasan (a). 30 °C dan (b). 60 °C selama 1 jam, 500 x



Gambar 6. Morfologi komposit poliester + SiC (7,5 %v/v) + silane yang mengalami pemanasan (a). 90 °C dan (b). 150 °C selama 1 jam, 500 kali.

pemuaian. Hal ini terlihat pada batas kontak SiC dan poliester yang masih tampak baik, hanya berupa warna hitam sebagai cerminan bahwa pada bagian ini merupakan potensi awal yang mengalami pengaruh pemanasan.

Efek termal pada suhu 90 °C dan 150 °C (Gambar 6) menyebabkan pemuaian yang lebih tinggi dari poliester dan pergerakan partikulit SiC lebih leluasa sehingga membentuk gerombolan berupa granula yang lebih besar dan mulai terlihat adanya ruang pada bagian kontak antar muka dari SiC. Ruang ini menunjukkan adanya kelemahan ikatan dari Silane dan memungkinkan terputusnya ikatan yang terjadi pada daerah kontak antar muka.

Fenomena perubahan struktur dari daerah kontak antar muka yang diakibatkan oleh pemanasan akan

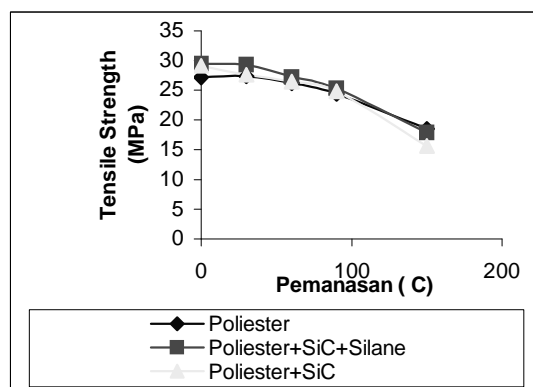
menyebabkan pula perubahan sifat mekanik (kekuatan tarik) dari bahan komposit poliester-SiC, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tensile strength komposit poliester-SiC(7,5 %v/v) yang mengalami pemanasan selama 1 jam.

No	Suhu (°C)	Poliester (MPa)	Poliester-SiC(MPa)	Poliester-SiC +Silane(MPa)
1.	0	27,1	29,1	29,45
2.	30	27,3	27,55	29,25
3.	60	26,15	26,45	27,2
4.	90	24,35	24,85	25,23
5.	150	18,45	15,65	17,85

Efek termal pada bahan poliester sebagai bahan matrik ternyata menyebabkan penurunan nilai *tensile strength*. Penurunan terjadi secara perlahan hingga pemanasan pada suhu 60 °C dan terjadi penurunan yang lebih besar untuk pemanasan 90 °C dan 150 °C. Karakteristik bahan poliester ini konsisten terjadi ketika dipadukan dengan bahan SiC dalam bentuk komposit.

Efek termal yang diakibatkan oleh pemanasan hingga 150°C pada kekuatan tarik khususnya nilai *tensile strength* dari struktur komposit poliester-SiC lebih menonjol karena pengaruh terhadap struktur rantai polimer poliesternya dan bagian permukaan kontak SiC-poliester, sedangkan untuk struktur SiC kurang berpengaruh. Hal ini karena titik leleh dari SiC yang sangat tinggi. Gambar 7 menunjukkan perbaikan ikatan kontak permukaan yang dilakukan dengan pelapisan *silane* pada SiC menyebabkan nilai *tensile strength* bahan komposit lebih tinggi dan lebih tahan terhadap efek termal dibanding dengan yang tanpa pelapisan.



Gambar 7. Tensile strength komposit poliester-SiC yang telah mengalami pemanasan 1 jam.

Fenomena mekanik ini menunjukkan bahwa potensi awal kelemahan mekanik yang terjadi pada bagian permukaan kontak SiC-poliester dapat dieliminasi dan efek termal terhadap struktur materi dapat direduksi sehingga bahan komposit poliester dengan pengisi SiC yang sudah dilapisi *silane* mempunyai kestabilan mekanik yang lebih baik.

KESIMPULAN

1. Ikatan adesi antar muka (*interface*) matriks poliester dengan pengisi partikulit SiC yang dilakukan oleh bahan penggandeng (*coupling agent*) silane dapat meningkatkan nilai *tensile strength* dan modulus elastisitas bahan komposit poliester-SiC hingga konsentrasi SiC sebanyak 7,5 %v/v.
2. Silane sebagai bahan penggandeng dapat meningkatkan nilai *tensile strength* (σ), sebesar 2,11 MPa dan nilai modulus elastisitas (E) sebesar 0,60 MPa dari bahan komposit poliester-partikulit SiC (7,5 %v/v).
3. Bahan komposit poliester dengan pengisi partikulit SiC (7,5 %v/v) yang telah mengalami perbaikan ikatan adesi antar muka dengan bahan silane mempunyai kestabilan mekanik yang lebih tinggi pada suhu pemanasan antara 30 °C hingga 150 °C dibanding dengan pengisi SiC tanpa silane.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Sdri Fitri Yulianti yang telah membantu dalam proses pembuatan dan pengujian sampel serta DR Darminto sebagai rekan diskusi dalam proses pembuatan makalah ini dan kegiatan ilmiah yang telah dan sedang berlangsung selama ini.

DAFTARACUAN

- [1]. CHAWLA, K.K, *Composite Materials Science and Engineering*, Springer Verlag, New York (1987)
- [2]. TAVMAN, I.H, *Powder Technology*, **91** (1997)
- [3]. CHANG KWON MOON, *Journal of Applied Polymer Science*, **67** (1998)
- [4]. EDWIN P. PLUEDDELMANN, *Coupling and Interfacial Agents and Their Effects on Mechanical Properties*, Elsevier Applied Science Publisher, Dow Corning Co., New York, (1986)
- [5]. F. DANUSSO and G. TIEGHI, *Polymer*, **27** (1986) 1385-1390
- [6]. DK CHATTOPADHYAY, DB ROHINI KUMAR, B SREEDHAR and KVSJ RAJU, *Journal of Applied Polymer Science*, **91** (2004) 27-34
- [7]. M.Y AHMAD FUAD, RAHMAT SHUKOR, Z.A MOHD ISHAK and A.K. MOHD. OMAR, *Plastics, Rubber and Composites and Applications*, **21** (1994) 225-235
- [8]. PUSHPA BAJAL, N.K JHA and ANAND KUMAR, *Journal of Applied Polymer Science*, **56** (1995) 1339-1347
- [9]. WEN YEN CHANG and WEN DER YANG, *Journal of Applied Polymer Science*, **35** (1988) 807-823