Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer

Adhi Kusumastuti

Jurusan Teknologi Jasa dan Produksi, Universitas Negeri Semarang
adhi_kusumastuti@staff.unnes.ac.id

Abstrak: Serat sisal merupakan penguat yang menjanjikan untuk digunakan sebagai komposit karena harganya yang murah, densitasnya yang rendah, kekuatan spesifik dan modulusnya yang tinggi, tanpa resiko kesehatan serta tersedia melimpah dan merupakan bahan alam terbarukan. Pengambilan serat sisal dapat dilakukan dengan pembusukan maupun penyisiran menggunakan dekortikator. Secara konvensional, serat sisal sering digunakan sebagai bahan baku pada pembuatan tali, tikar, karpet, kerajinan, dan lain-lain. Secara teknis, serat sisal potensial untuk digunakan sebagai komposit bagi bahan bangunan, kendaraan, rel kereta api, geotekstil, hingga kemasan. Akhir-akhir ini, keinginan masyarakat untuk mendiversifikasikan penggunaan komposit berbahan dasar serat sisal telah meningkat. Sebagai komposit, sisal telah dikombinasikan dengan polyester, epoxy, polyethylene, dan karet. Harga serat sisal yang murah dan sifatnya yang istimewa menjadikan serat sisal sebagai salah satu serat alam yang paling banyak digunakan sebagai komposit.

Kata kunci: Serat sisal, komposit, polimer, sifat mekanis

1. Pendahuluan

Serat alam merupakan alternatif *filler* komposit untuk berbagai komposit polimer karena keunggulannya dibanding serat sintetis. Serat alam mudah didapatkan dengan harga yang murah, mudah diproses, densitasnya rendah, ramah lingkungan, dan dapat diuraikan secara biologi. Akhir-akhir ini, pemanfaatan serat alam sebagai *filler* komposit telah diaplikasikan secara komersial di berbagai bidang seperti bidang otomotif dan konstruksi. Di antara berbagai jenis serat alam, sisal merupakan salah satu tanaman yang paling banyak digunakan (lihat Gambar 1). Serat yang dihasilkan dari daun sisal tersebut digunakan sebagai tali, benang, karpet, dan kerajinan karena kekuatannya yang baik, tahan lama, *stretch*, dan afinitas terhadap zat warna baik.

Sisal merupakan salah satu serat alam yang paling banyak digunakan dan paling mudah dibudidayakan. Sisal tumbuh liar sebagai pagar dan di sepanjang rel kereta api di India (Murherjee dan Satyanarayana, 1984). Produksi sisal di seluruh dunia mencapai hampir 4.5 juta ton tiap tahunnya. Tanzania dan Brazil merupakan negara penghasil sisal terbesar (Chand *et al* 1988). Serat sisal merupakan serat keras yang dihasilkan dari proses ekstraksi daun tanaman sisal (*Agave sisalana*). Meskipun tanaman ini berasal dari amerika Utara dan Selatan, sisal dapat tumbuh dengan baik hingga di Afrika, Hindia Barat, dan Timur jauh. Tanaman sisal dapat menghasilkan 200-250 daun, dimana masing-masing daun terdiri dari 1000-1200 bundel serat yang mengandung 4% serat, 0.75% kutikula, 8% material kering, dan 87.25% air (Murherjee dan Satyanarayana, 1984).

Gambar 1. Serat Sisal

Normalnya, selembar daun sisal mempunyai berat sekitar 600 gram yang dapat menghasilkan 3% berat serat atau 1000 helai serat. Daun sisal terdiri dari 3 tipe, yaitu mekanis, *ribbon,* dan *xylem*. Serat mekanis diekstrak dari bagian tepi

daun (*periphery*). Seratnya kasar dan tebal berbentuk sepatu kuda dan jarang dipisahkan saat proses ekstraksi. Bagian ini merupakan bagian terpenting dari serat sisal. Serat *ribbon* terbentuk di bagian tengah daun. Struktur jaringan *ribbon* sangat kuat dan merupakan bagian serat yang terpanjang. Dibanding bagian serat mekanis, serat *ribbon* mudah dipisahkan secara membujur selama proses berlangsung. Ketebalan, panjang, dan kekuatan serat tergantung pada kedewasaan daun serta posisi serat pada daun. Serat yang paling tebal terletak pada pangkal daun. Daun tertua terletak paling dekat dengan tanah, yang mengandung serat terpanjang dan kasar. Serat yang diekstrak dari daun yang masih muda biasanya lebih pendek, halus, dan lebih lemah.

Proses ekstraksi serat sisal telah dilakukan oleh Chand *et al,* 1988 serta Murherjee dan Satyanarayana, 1984. Prosesnya dapat dilakukan pembusukan dan penyisiran serat maupun dengan bantuan dekortikator. Proses ekstraksi secara mekanis menggunakan dekortikator akan menghasilkan 2-4% serat (15 kg per 8 jam proses) yang berkualitas baik dengan kilau yang tinggi. Sementara proses pemisahan serat sisal dengan metode pembusukan akan menghasilkan serat dengan jumlah yang jauh lebih banyak namun berkualitas rendah. Setelah diekstraksi, serat dicuci dengan air berseih untuk menghilangkan sisa residu seperti klorofil, lendir daun, dan padatan yang melekat.

Mukhopadhyay dan Srikanta, 2008 mengkaji pengaruh perendaman terhadap sifat serat sisal. Hasilnya menunjukkan bahwa serat sisal segar mempunyai *tenacity,* kekuatan dan mulur yang jauh lebih baik dibandingkan serat sisal hasil proses perendaman. Hal tersebut disebabkan karena proses perendaman akan memicu terjadinya oksidasi selulosa sehingga kekuatan serat jauh lebih rendah.

Komposisi kimia serat sisal telah dikaji oleh beberapa peneliti. Ansell, 1971 menemukan bahwa serat sisal mengandung 78% sellulosa, 8% lignin, 10% hemi-celluloses, 2% wax dan 1% ash; tetapi Rowell, 1992 menyatakan bahwa sisal mengandung 43-56% sellulosa, 7-9% lignin, 21-24% pentosan dan 0.6-1.1% ash. Menurut Joseph *et al* 1996, sisal mengandung 85-88% sellulosa. Bervariasinya komposisi kimia serat sisal disebabkan oleh perbedaan asal dan umur serat serta metode pengukuran. Chand dan Hashmi, 1993 menunjukkan bahwa sellulosa dan lignin yang terdapat pada sisal bervariasi dari 49.62-60.95 dan 3.75-4.40%, tergantung pada usia tanaman.

Panjang serat sisal dapat bervariasi antara 1.0-1.5 meter dengan diameter antara 100-300 mm (Bisanda, 1991). Serat merupakan gabungan dari beberapa berkas sub-serat. Dinding sel serat diperkuat dengan selulosa berbentuk spiral yang tergabung dalam matriks hemiselulosa dan lignin. Jadi dinding sel merupakan struktur komposit material lignoselulosa yang diperkuat oleh gabungan mikrofiber selulosa. Komposisi permukaan eksternal dinding sel berupa lapisan lignin dan wax yang mengikat sel. Dengan demikian, permukaannya tidak akan berikatan erat dengan matriks polimer. Selulosa merupakan polimer hidrofilik.

Meskipun sisal merupakan serat alam yang paling banyak digunakan, sebagian besar bahan ekonomis dan terbarukan ini belum dimanfaatkan. Saat ini pemanfaatan utama sisal terbatas pada bidang kelautan dan pertanian. Aplikasi serat sisal antara lain pada pembuatan benang, tali, bahan pelapis, tikar, jala ikan, serta barang kerajinan seperti dompet, hiasan dinding, dan *table mat.* Aplikasi terbaru serat sisal yaitu pada pembuatan panel atap yang kuat dan murah serta tahan api.

2. Sifat Serat Sisal

Harga

Harga serat sisal sangat murah dibandingkan serat sintetis, yaitu 0.36 US$/kg. Harga tersebut hanya sepersembilan harga serat gelas yang mencapai 3.25 US$/kg, serta seperlimaratus harga serat karbon yang mencapai 500 US$/kg (Li *et al*, 2000).

Sifat fisika dan kimia

Umumnya kekuatan dan kekakuan serat tumbuhan tergantung pada kandungan selulosa dan sudut spiral yang terbentuk antara ikatan mikrofibrilar pada lapisan kedua dinding sel dengan sumbu serat. Selain itu struktur dan sifat serat alam tergantung pada asal dan umur serat (Chand *et al*, 1986). Kekuatan tarik serat sisal tidak sama sepanjang serat. Bagian bawah serat umumnya mempunyai kekuatan tarik dan modulus yang lebih rendah dibanding bagian atas serat. Namun kekuatan tahan pecah bagian tersebut lebih tinggi. Bagian tengah serat lebih kuat dan kaku.

Tabel 1 menunjukkan sifat serat sisal hasil kajian beberapa peneliti. Perlu diketahui bahwa selain struktur dan sifat serat itu sendiri, kondisi percobaan seperti panjang sampel serat dan kecepatan pengujian mempengaruhi sifat serat alam.

Tabel 1. Sifat serat sisal

Densitas (kg/m^3)	Moisture Content (%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus (GPa)	Maximum Strain (%)	Diameter (μm)
1450	11	604	9.4-15.8	-	50-200
1450	-	530-640	9.4-22	3-7	50-300
-	-	347	14	5	-
1030	-	500-600	16-21	3.6-5.1	-
1410	-	400-700	9-20	5-14	100-300
1400	-	450-700	7-13	4-9	-
-	-	530-630	17-22	3.64-5.12	100-300
1450	-	450-700	7-13	4-9	-

Mukherjee dan Satyanarayana, 1984 mengkaji pengaruh diameter serat, waktu dan kecepatan pengujian terhadap kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan persentase mulur serat sisal saat putus. Hasilnya menunjukkan bahwa diameter serat tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap sifat mekanis serat sisal. Kekuatan tarik dan persentase mulur serat saat putus menurun seiring dengan meningkatnya modulus Young dan panjang serat. Peningkatan kecepatan pengujian akan meningkatkan modulus Young dan kekuatan tarik, namun tidak memberikan perbedaan yang dignifikan pada mulur serat. Pada kecepatan pengujian 500 mm/min, kekuatan tarik serat turun drastis. Pada pengujian mekanis, serat menjadi elastis, daerah kristalin yang dikenai beban akan menghasilkan peningkatan modulus dan kekuatan tarik. Saat kecepatan pengujian diturunkan, beban yang diberikan akan tersimpan di daerah amorf. Pada kecepatan pengujian yang rendah, serat berubah menjadi larutan kental. Daerah amorf menyimpan sebagian besar beban yang diberikan untuk menghasilkan modulus dan kekuatan tarik yang rendah. Pada laju *strain* yang tinggi (500 mm/menit), akan terjadi penurunan drastis pada kekuatan tarik sebagai akibat dari cacat serat.

Chand dan Hashmi, 1993 mengkaji sifat mekanis serat sisal pada usia tanaman yang berbeda dengan tiga variasi suhu. Nilai kekuatan tarik, modulus, dan kekasaran serat (yang didefinisikan sebagai penyerapan energi tiap satu satuan volume) serat sisal menurun akibat peningkatan suhu.

Pada suhu 100^0C, pengaruh usia tanaman terhadap sifat mekanis serat sisal kurang signifikan dibanding pada suhu 30^0C. Hal tersebut ditandai dengan lebih intensifnya pemulihan air maupun substansi *volatile* lainnya dari dalam serat pada suhu 100^0C. Pada suhu 80^0C, peningkatan usia tanaman akan menurunkan kekuatan tarik dan modulus serat sisal. Trend tersebut berbeda dibanding pada suhu 100^0C. Tabel 2 menunjukkan perbedaan sifat mekanis serat sisal pada berbagai variasi usia tanaman dan suhu percobaan.

Tabel 2. Perbandingan sifat mekanis serat sisal pada berbagai variasi suhu dan usia tanaman*

Usia	Kekasaran/volume (MJ/m^3)			Kekuatan Tarik (MPa)			Modulus (GPa)		
	30^0C	80^0C	100^0C	30^0C	80^0C	100^0 C	30^0C	80^0C	100^0 C
3	4.8	4.9	4.1	452	350	303	26	29	21
5	5.5	7.8	4.3	508	355	300	29	-	22
7	6.0	5.2	4.7	500	300	280	34	22	17
9	7.4	5.4	5.2	581	316	339	37	17.5	21

*Diolah dari berbagai sumber

Aplikasi teknis serat sisal

Serat sisal potensial untuk digunakan sebagai komposit bagi bahan bangunan, kendaraan, rel kereta api, geotekstil, hingga kemasan. Sebagai bahan bangunan, sisal sering digunakan sebagai komposit subtitusi kayu, kusen, pintu, atap hingga pada bangunan tahan gempa karena tahan lama dan murah. Sebagai atap bangunan, serat sisal dianggap ramah lingkungan dibanding asbes yang bersifat karsinogen. Di bidang otomotif, serat sisal digunakan sebagai panel mobil, sandaran kursi, dan bantalan rem. Di India, industri kendaraan telah menggunakan komposit serat sisal mengingat sifatnya yang 10% lebih ringan, hemat energi produksi hingga 80%, dan hemat biaya hingga 5% (OSEC, 2004). Bahan kemasan seperti tas, krat, kontainer yang awalnya menggunakan kayu kini menggunakan komposit sisal yang jauh lebih murah. Serat komposit polimer pada perahu telah digantikan oleh sisal sebagai penguatnya (Gujarat, 2005).

3. Komposit

Komposit Sisal-Polyester

Arnold dan Martin 2008 mengkaji tentang komposit sisal-polyester dan sisal-epoxy. Komposit dibuat dengan menuang polimer ke dalam cetakan panas bertekanan. Masing-masing spesimen berisi 12 g serat sisal yang dibagi menjadi tiga lapis. Setelah lapisan pertama ditata pada cetakan, polimer dituangkan, demikian seterusnya hingga lapisan yang ketiga. Pembuatan komposit jenis ini dilakukan pada suhu 50^0C dengan tekanan 60 bar selama 20 menit, dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 80^0C selama semalam. Komposit sisal-epoxy dibuat dengan pemanasan pada suhu 80^0C dengan tekanan 60 bar selama 20 menit. Pengerjaan lanjutan dilakukan pada suhu 23 ± 1^0C selama 23 jam kemudian dipanaskan pada 100^0C selama 4 jam. Tabel 3 menunjukkan fraksi volume material komposit.

Tabel 3. Fraksi volume masing-masing komposit

Jenis Komposit	Fraksi Volume	Standar Deviasi
Sisal-polyester tanpa *treatment*	68.2	3.2
Sisal-polyester dengan *treatment*	64.4	1.9
Sisal-epoxy tanpa *treatment*	71.5	2.5
Sisal-epoxy dengan *treatment*	68.5	1.5

Tabel 4 menunjukkan data kekuatan tarik komposit serat sisal baik yang diberi *treatment* maupun tanpa *treatment.* Hasilnya menunjukkan bahwa pemberian perlakuan serat sisal dengan 0.06 M larutan NaOH akan meningkatkan kekuatan tarik komposit sisal-polyester namun tidak memberikan peningkatan yang berarti pada komposit sisal-epoxy.

Tabel 4. Sifat komposit serat sisal dengan dan tanpa *treatment*

Jenis Komposit	Kekuatan (MPa)
Sisal-polyester tanpa *treatment*	222.6
Sisal-polyester dengan *treatment*	286.0
Sisal-epoxy tanpa *treatment*	329.8
Sisal-epoxy dengan *treatment*	335.4

3.1. Komposit Sisal-Epoxy

Salah satu penelitian terdahulu mengenai komposit polimer serat alam telah dilakukan oleh Paramasivam dan Abdulkalam dengan menggabungkan serat sisal di dalam matriks epoxy. Proses pembuatannya dilakukan dengan penggulungan dan laminasi. Pembuatan komposit jenis ini relatif mudah dengan biaya produksi yang rendah. Kekuatan tarik komposit sisal-epoxy sebesar 250-300 MPa., atau setengah dari kekuatan tarik komposit serat gelas-epoxy dengan komposisi yang sama. Densitas serat sisal yang rendah menjadikan kekuatan komposit sisal dapat disejajarkan dengan komposit gelas. Modulus komposit sisal-epoxy yang searah sebesar 8.5 GPa. Hal ini menunjukkan kemungkinan pengembangan komposit dengan kombinasi serat alam yang melimpah untuk digunakan sebagai bahan bangunan maupun struktur jalan. Belum ada penelitian yang mengkaji kualitas komposit jenis ini akibat paparan cuaca. Komposit yang terbuat dari 25% berat serat sisal dengan polyester diproduksi dengan teknik cetak press. Hasil pengujian terhadap sifat mekanik komposit menunjukkan modulus komposit 1.9 dimana komposit serat gelas-plastik mempunyai modulus 2.71. Kekuatan spesifik komposit sama besar dengan resin polyester yaitu 34-41 MPa. Kekuatan tekan menunjukkan nilai 30 J/m2, tiga kali lebih tinggi dibanding polyester dan 30% lebih rendah dibanding komposit serat gelas-plastik.

Komposit Sisal-Polyethylene

Joseph *et al*, 1995 mengkaji pengaruh metode pembuatan, kandungan, panjang, dan orientasi serat terhadap kekuatan tarik komposit sisal-polyethylene. Kekuatan tarik serat akan optimal pada panjang serat 6 mm, yaitu mencapai 12.5 MPa. Pada panjang serat 10 mm, kekuatan serat akan turun menjadi 10.24 MPa. Kesejajaran serat sisal akan meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit. Perbedaan metode pembuatan akan menyebabkan perbedaan sifat mekanis serat. Serat yang panjang akan cenderung keriting saat pencetakan. Hal ini menyebabkan berkurangnya panjang efektif serat sehingga sifat mekanisnya pun menurun.

Komposit Sisal-Karet

Karet merupakan salah satu matriks terbanyak yang digunakan sebagai komposit serat sisal setelah polyethylene. Matriks karet meliputi karet alam dan karet sintetis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang serat optimal yang digunakan adalah 6 mm, sama dengan yang digunakan pada komposit sisal-polyester.

Tingginya fraksi volume serat akan meningkatkan ketahanan serat terhadap efek perendaman terutama pada permukaan serat. Orientasi serat juga menurunkan tingkat degradasi akibat proses perendaman. Pening-katan dosis radiasi sinar gamma akan meningkatkan tingkat pembusukan serat (Varghese *et al*, 1994).

4. Kesimpulan

Serat sisal merupakan penguat polimer yang efektif. Sifat mekanis dan sifat fisis serat sisal tidak hanya dipengaruhi oleh asal, posisi, dan usia tanaman saja, namun juga tergantung pada kondisi percobaan seperti diameter serat, panjang alat ukur, kecepatan dan suhu pengujian.

Treatment terhadap permukaan serat akan meningkatkan daya adhesi serat sisal terhadap matriks polimer serta menurunkan daya serap air. Sifat mekanis dan sifat fisis komposit serat sisal sangat sensitif terhadap metode proses, panjang serat, orientasi serat, dan fraksi volume.

5. Daftar Pustaka

Bisanda E.T.N., Ansell M.P. 1991. *The effect of silane treatment on the mechanical and physical properties of sisal-epoxy composites.* Composites Science and Technology. No. 41. pp.165-178.

Chand N., Hashmi S.A.R. 1993. *Mechanical properties of sisal fibre at elevated temperatures.* Journal of Materials Science. No. 28. pp.6724-6728.

Chand N., Tiwary R.K., Rohatgi P.K. 1988. *Bibliography resource structure properties of natural cellulosic fibres: an annotated bibliography.* Journal of Materials Science. No. 23. pp.381-387.

Chand N., Satyanarayana K.G., Rohatgi P.K. 1986. *Mechanical characteristics of sunhemp fibres*. Indian Journal of Textile Research. No. 11. pp.86-89.

Gujarat V. 2004. *Project proposals: Global Investors Summit-2004.* Govt. of Gujarat. India.

Joseph K., Thomas S, Pavithran C., 1996, *Effect of chemical treatment on the tensile properties of short sisal fibre-reinforced poly-ethylene composites, Polymer*, *37, pp.5139-5149.*

Joseph K, Thomas S, Pavithran C, 1995, *Effect of ageing on the physical and mechanical properties of sisal-fibre-reinforced polyethylene composites, Composites Science and Technology*, *53, pp.99-110.*

Kim J.K., Lu S., Mai Y.W. 1994. *Interfacial debonding and fibre pull-out stresses Part IV: Influence of interface layer on the stress transfer.* Journal of Materials Science. 29. pp.554-561.

Li Y., Mai Y.M., Ye L. 2000. *Sisal fibre and its composites: a review of recent developments.* Composites Science and Technology. No. 60. 2037-2055.

Mukhopadhyay S., Srikanta R. 2008. *Effect of ageing of sisal fibres on properties of sisal – Polypropylene composites.* Polymer Degradation and Stability. No. 93. pp. 2048–2051. -

Murherjee P.S., Satyanarayana K.G. 1984. *Structure and properties of some vegetable fibres, part 1.* Sisal fibre. Journal of Materials Science. No. 19. pp.3925-3934. -

OSEC. 2004. *India Automotive Components Industry.* Swiss Business Hub India. OSEC Business network. Switzerland.

Rowell R.M., Schultz T.P., Narayan R. 1992. *Emerging technologies for materials & chemicals for biomass.* ACS Symposium Ser, 476, pp. 12.

Saxena M., Murali S., Nandan M.J., and Ramakrishnan N. 1984. *Sisal: potential for employment generation And rural development.* Rural India - Achieving Millennium Development Goals And Grassroots Development. 3rd International Conference. India

Suppakarn N., dan Jarukumjorn K. 2009. *Mechanical properties and flammability of sisal/PP composites: Effect of flame retardant type and content.* Composites: Part B. No. 40. pp. 613–618.

Towo A.N., Ansell M.P. 2008. *Fatigue evaluation and dynamic mechanical thermal analysis of sisal fibre–thermosetting resin composites.* Composites Science and Technology. No.68. pp.925–932.

Varghese S., Kuriakose B., Thomas S., 1994, *Short sisal fibre reinforced natural rubber composites: high-energy radiation, thermal and ozone degradation.* Polymer Degradation & Stability. No. 44. pp.55-61.