

Studi sifat mekanis komposit epoxy berpenguat serat sisal orientasi acak yang dicetak dengan teknik *hand-lay up*

I Wayan Surata^{1)*}, I Putu Lokantara²⁾ dan Ade Putra Arimbawa³⁾
^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Tanaman sisal tumbuh liar di daerah kering berbatuan seperti di pulau Nusa Penida kabupaten Klungkung, yang oleh penduduk lokal disebut tanaman bagu. Serat sisal sangat kuat oleh karena itu dahulu banyak digunakan sebagai tali-temali penambat jukung atau perahu, sebelum dikenalnya tali nilon seperti saat ini. Belakangan ini serat alam termasuk sisal banyak dikembangkan sebagai penyusun komposit. Komposit serat sisal dapat dibudidayakan dengan mudah dan murah sehingga ketersediaannya bisa berkelanjutan, serta ramah terhadap lingkungan. Kekuatan mekanis komposit yang diperkuat dengan serat alam dapat ditingkatkan dengan mengatur perbandingan fraksi volume serat terhadap sifat tarik dan lentur komposit tersebut. Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh fraksi volume serat terhadap sifat tarik dan lentur komposit berpenguat serat sisal dengan matriks epoxy. Serat sisal diperoleh dengan cara ekstraksi yaitu perendaman dan penyisiran, kemudian dipotong dengan ukuran panjang 3 cm. Serat sisal mengalami perlakuan dalam larutan alkali 5% NaOH selama 2 jam. Matriks yang digunakan adalah epoxy resin, dengan hardener versamid. Komposit dibuat dengan teknik press hand lay-up, dengan variasi fraksi volume serat sisal 15%, 20%, dan 25% yang disusun secara acak. Komposit hasil cetakan mengalami post curing pada suhu 65 °C selama 2 jam. Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan standar ASTM D3039, dan uji lentur mengacu pada standar ASTM D790M. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik universal, dan pengujian lentur dengan metode tiga titik pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan modulus elastisitas tarik komposit meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat, dan nilai optimum terjadi pada fraksi volume serat 25%, yaitu 19,77 MPa untuk kekuatan tarik, dan 2,83 GPa untuk modulus elastisitas, sementara regangan tarik optimum terjadi pada fraksi volume serat 15%, yaitu sebesar 1,01%. Kekuatan lentur dan modulus lentur serta regangan lentur juga meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat, dan nilai optimum dicapai pada komposit dengan fraksi volume serat 25%, yaitu 88,48 MPa, untuk kekuatan lentur, dan 0,259 GPa untuk modulus elastisitas lentur, serta regangan lentur sebesar 7,55%.

Kata kunci: Serat sisal, komposit epoxy, fraksi volume, kekuatan tarik, kekuatan lentur

Abstract

The sisal plant (*Agave sisalana*) grows wild in arid areas such as the rocky island of Nusa Penida in Klungkung regency, and local people call bagu plants. Sisal fiber is very strong that is why it widely used as rigging on boats or ships, before they know nylon rope. Currently, natural fibers including sisal has been developed as elements to produce composites. Sisal fibers can be cultivated easily and inexpensively so that availability will be sustainable and environmentally friendly. Mechanical strength of composites that reinforced with natural fibers can be improved by setting the ratio of fibers volume fraction in the composite. The aim of this study was to investigate the effect of fiber volume fraction on tensile and flexural properties of composite with sisal fiber and epoxy matrix. Sisal fibers obtained with extraction process by soaking and combing, then cut to a length of 3 cm. Sisal fibers undergo treatment in an alkaline solution of 5% NaOH for 2 hours. The matrix used is epoxy resin, with a hardener versamid. Composites was made by hand lay-up technique, with a variation of fibers volume fraction of 15%, 20%, and 25% which were arranged randomly. Composite underwent post curing at a temperature of 65 °C for 2 hours. Tensile test specimens were made based on the standard ASTM D3039, and the flexural test based on ASTM standards D790M. Tensile test was conducted by using universal tensile testing machine, and flexural test with a three-point loading method. The results showed that the tensile strength and tensile modulus of elasticity of the composite increases with increasing fibers volume fraction, and the optimum value occurred in the fibers volume fraction of 25%, the highest value of 19.77 MPa for tensile strength, and 2.83 GPa for the modulus of elasticity, while the strain optimum occurred on the fibers volume fraction of 15%, with value 1.01%. Flexural strength, flexural modulus and flexural strain also increases with increasing fiber volume fraction, and the optimum value was achieved in the composite with a fiber volume fraction of 25%, with value of 88.48 MPa for flexural strength, flexural modulus of 0.259 GPa and flexural strain of 7.55%.

Keywords: Sisal fiber, epoxy composites, volume fraction, tensile strength, flexural strength

1. Pendahuluan

Tanaman sisal (*Agave Sisalana*) tumbuh liar di daerah kering berbatuan seperti di pulau Nusa Penida kabupaten Klungkung, yang oleh penduduk lokal disebut tanaman *bagu*. Serat sisal sangat kuat oleh karena itu dahulu banyak digunakan sebagai tali-temali penambat jukung atau perahu, sebelum dikenalnya tali nilon seperti saat ini. Belakangan ini serat alam termasuk sisal banyak dikembangkan sebagai penyusun komposit. Komposit adalah suatu

material yang terdiri atas dua atau lebih bahan yang sifatnya sangat berbeda, dimana satu material berfungsi sebagai pengikat dan yang lainnya sebagai penguat. Dengan penggabungan tersebut didapat material yang sifatnya lebih baik dari bahan tunggal penyusunnya. Sifat-sifat yang dimiliki komposit adalah kuat, ringan, tahan korosi, tahan keausan dan penampilan yang indah. Bahan komposit ideal digunakan dalam struktur dimana ratio kekuatan

*Korespondensi: Tel./Fax.: 62 361 703321

E-mail: iwasura@gmail.com

©Teknik Mesin Universitas Udayana 2016

terhadap berat dan ratio kekakuan terhadap berat menjadi pertimbangan [1, 2].

Penggunaan komposit kini terus meningkat dan mencakup bidang yang sangat luas mulai dari perabot rumah tangga, alat olahraga, *packaging*, panel otomotif, badan kapal laut, pesawat terbang, dan lain sebagainya. Penggunaan komposit saat ini cenderung bergeser dari komposit berpenguat serat sintetis menjadi komposit berpenguat serat alam. Hal ini karena komposit dengan serat sintetis seperti serat gelas tidak ramah lingkungan, menyebabkan munculnya masalah limbah serat gelas, yang tidak dapat diurai secara alami [3]. Pemanfaatan serat alam sebagai pengganti serat gelas kebanyakan untuk penggunaan non-struktur, misalnya untuk interior dan eksterior otomotif, karena kekuatannya masih sangat rendah dibandingkan serat gelas. Penggunaan serat alam pada otomotif memiliki dua keuntungan yaitu kendaraan menjadi lebih ringan, yang berarti meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar, dan meningkatkan keberlanjutan produksi [4,5].

Pembuatan komposit dengan serat alam sangat dipengaruhi oleh kualitas ikatan yang terjadi antara matriks dan serat. Peran matriks dalam komposit adalah meneruskan beban ke serat melalui tegangan geser pada *interface*. Proses penyatuan memerlukan pengikat yang baik antara matriks dan serat. Pengikatan yang buruk pada *interface*, menghasikan sifat mekanis yang buruk pula. Sifat pengikatan ini dapat ditingkatkan dengan perlakuan kimia pada serat alam antara lain menggunakan NaOH, silane, permanganat, dan peroksida [6].

Serat alam sangat bervariasi tergantung dari kondisi pertumbuhan dan kondisi panen, sehingga sangat sulit mendapatkan sifat mekanis yang sama [4]. Beberapa serat alam seperti sisal, jute, hemp, flax, coir, daun nanas, pisang, rami, goni, bambu, dan sawit telah dikembangkan sebagai penguat untuk membuat komposit [6, 7, 8]. Jamasri et al. [3] meningkatkan sifat tarik komposit serat limbah buah kelapa sawit dengan perlakuan alkali NaOH. Diharjo et al. [9] meneliti kekuatan lentur dan dampak pada komposit polyerter serat goni, dengan mengkombinasikan susunan serat acak dan woven berselang-seling. Irawan et al.[10] memanfaatkan komposit serat rami sebagai bahan alternatif untuk pembuatan *socket prosthesis* menggantikan komposit serat gelas, karena serat gelas tidak baik untuk kesehatan. Aziz and Ansell [11] menyelidiki pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat mekanis dan termal serat kenaf dan hemp dengan matriks polyester. Bachtiar et al. [7] melaporkan hasil penelitian terhadap sifat-sifat mekanis dari beberapa serat alam seperti terlihat pada Tabel 1.

Sifat mekanis serat dapat diperbaiki dengan perlakuan alkali seperti dengan larutan NaOH, KMnO₄, silane dan sebagainya. Mwaikambo and Ansell [12] melaporkan perlakuan alkali NaOH dengan konsentrasi antara 4-6% menghasilkan kekakuan dan tegangan maksimum pada serat hemp. Waktu perendaman selama 2 jam pada perlakuan serat kelapa sawit dengan NaOH 5% menghasilkan kekuatan tarik tertinggi [3]. Panjang dan diameter serat juga mempengaruhi kekuatan mekanis komposit. Kekuatan tarik tertinggi pada komposit serat

pisang/phenol diperoleh pada panjang serat pisang 30 mm [13]. Pada serat hemp, ditemukan hubungan semakin kecil diameter serat semakin kuat serat tersebut [12].

Tabel 1. Sifat mekanis beberapa serat alam

Name of the fiber	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Strain (%)	Density (g/cm ³)
Sugar palm	190	3.69	19.6	1.29
Caraua	665	20-30	2-3	1.33
Nettle	1594	87	2.11	1.53
Hemp	270	19	0.8	1.48
Jute	393	26.5	1.8	1.18
Coir	138	6	10.5	1.25
Kenaf	215	13-17	1.18	1.40
Bamboo	200	-	10.2	0.80
E-glass	1800	72-83	3	2.55

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh fraksi volume serat terhadap sifat mekanis yang meliputi sifat tarik dan sifat lentur komposit epoxy berpenguat serat sisal pendek yang disusun secara acak dan dicetak dengan teknik *hand lay-up*.

2. Metode Penelitian

Matriks yang digunakan dalam penelitian ini adalah *epoxy resin*, dengan *hardener* jenis *Versamid*. Serat sisal diperoleh dengan teknik ekstraksi yaitu dengan proses perendaman dan penyisiran. Tanaman sisal dan hasil ekstraksi seratnya ditunjukkan dalam Gambar 1. Serat hasil ekstraksi dipotong dengan ukuran panjang 3 cm, direndam dalam larutan alkali 5% NaOH selama 2 jam, untuk menghilangkan kotoran dan lapisan lilin yang terdapat padanya serta memperkasar permukaan serat untuk memperkuat ikatan adhesi antara serat dengan matriks *thermosetting* seperti *epoxy* dan *polyester*. Serat dicuci dengan air bersih dan dikeringkan sampai beratnya konstan. Komposit dibuat dengan teknik *press hand lay-up*, dengan variasi fraksi volume serat 15%, 20%, dan 25% yang disusun secara acak. Komposit hasil cetakan mengalami *post curing* pada suhu 65 °C selama 2 jam. Spesimen uji tarik dibuat berdasarkan standar ASTM D3039, dan uji lentur mengacu pada standar ASTM D790M. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik universal, dan pengujian lentur dengan metode tiga titik pembebanan.



a) Tanaman sisal



b) Serat sisal

Gambar 1. Tanaman sisal & hasil ekstraksi serat sisal

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Sifat tarik komposit

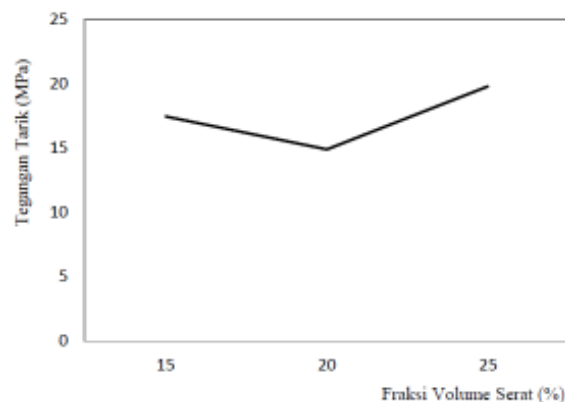
Data hasil pengujian kekuatan tarik komposit serat *sisal* dengan matriks *epoxy* dalam variasi fraksi volume serat disajikan pada Tabel 2. Nilai numerik yang tercantum adalah dalam kondisi maksimum. Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 25% mencapai 19,774 MPa, dan modulus elastisitas 2,831 GPa. Sementara regangan tarik tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 15% yaitu sebesar 1,018%. Kekuatan tarik terendah terjadi pada fraksi volume 20% yaitu 14,853 MPa. Perbedaan nilai kekuatan tarik tertinggi dengan nilai terendah mencapai 33%, yang artinya penambahan volume serat berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik.

Tabel 2. Sifat tarik komposit epoxy serat sisal

Fraksi Volume (%)	Tegangan tarik σ (MPa)	Regangan tarik ϵ (%)	Modulus Elastisitas E (GPa)
15	17,436	1,018	1,111
20	14,853	0,919	1,298
25	19,774	0,500	2,831

Melalui grafik pada Gambar 2, dapat dilihat kecenderungan kurva menyerupai lengkungan pada daerah fraksi volume serat antara 15% - 25%, dengan titik terendah pada volume serat 20%. Penurunan kekuatan tarik disebabkan oleh ikatan antara permukaan matriks dan serat tidak baik. Ikatan yang lemah ini mengakibatkan kerusakan pada tegangan komposit dan menyebabkan kekuatan tarik menurun. Kecenderungan hasil yang sama dilaporkan oleh Yusoff et al. [14] dimana kekuatan tarik komposit *epoxy* serat kelapa sawit berbeda dengan bertambahnya volume serat. Perbedaan nilai kekuatan tarik tertinggi dengan terendah diperoleh sekitar 21%.

Tegangan maksimum komposit bergantung pada beberapa faktor, salah satu faktor tersebut adalah fraksi volume serat [6]. Sifat mekanis serat seperti tegangan tarik maksimum tidak hanya berkaitan dengan komposisi kimia serat tapi juga dengan struktur internal. Dengan meningkatnya fraksi volume serat dalam komposit berarti jumlah matriks dalam komposit menjadi berkurang, kondisi ini membuat serat tidak terlalu basah oleh matriks sehingga kekuatan tarik komposit meningkat [15].



Gambar 2. Grafik hubungan fraksi volume serat dengan tegangan tarik

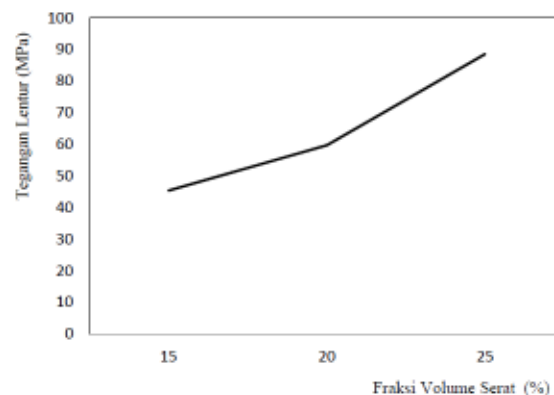
Sebaliknya regangan tarik menurun dengan bertambahnya fraksi volume serat. Regangan tarik tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 15% yaitu 1,018%, dan terendah pada fraksi volume serat 25% yaitu 0,5%. Penelitian pemanfaatan serat pisang sebagai penguat diperoleh hubungan bahwa tegangan tarik meningkat secara teratur dengan meningkatnya fraksi volume serat pada komposit [13]. Hasil penelitian pemanfaatan serat alam lainnya juga dilaporkan bahwa peningkatan fraksi volume serat akan diikuti dengan meningkatnya sifat tarik komposit [3, 16]. Peningkatan fraksi berat serat juga menghasilkan peningkatan kekuatan tarik komposit [6]. Meningkatnya kekuatan tarik ini terjadi karena semakin banyak serat berfungsi sebagai penguat, dan sedikitnya matriks dalam komposit menyebabkan serat tidak basah, sehingga kekuatan serat tetap tinggi. Namaun demikian penambahan volume serat memiliki batas optimum. Beberapa penelitian melaporkan jumlah fraksi volume serat dalam komposit cukup bervariasi dan berada dikisaran 20% sampai 50%, tergantung jenis seratnya [17, 18].

3.2. Sifat lentur komposit

Data hasil pengujian kekuatan lentur komposit serat *sisal* dengan matriks *epoxy* dalam variasi fraksi volume serat disajikan pada Tabel 3. Nilai numerik yang tercantum adalah dalam kondisi rata-rata maksimum. Kekuatan lentur pada fraksi volume serat 15% adalah sebesar 45,27 MPa dan terus meningkat sampai mencapai kekuatan lentur tertinggi sebesar 88,48 MPa pada fraksi volume serat 25%, seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Perbedaan nilai kekuatan lentur tertinggi dan terendah sekitar 95%, yang artinya penambahan volume serat dalam komposit berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan lentur.

Tabel 3. Sifat lentur komposit epoxy serat sisal

Fraksi Volume (%)	Tegangan lentur, σ (MPa)	Regangan lentur, ϵ (%)	Modulus Elastisitas, E (GPa)
15	45,27	6,77	0,232
20	59,67	6,51	0,223
25	88,48	7,55	0,259



Gambar 3. Grafik hubungan fraksi volume serat dengan tegangan lentur

Gambar 3 juga memperlihatkan kecenderungan perubahan kekuatan lentur dengan bertambahnya fraksi volume serat pada kandungan volume serat antara 20% - 25% lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan antara 15% - 20%.

Modulus elastisitas lentur pada fraksi volume serat 15% sebesar 0,232 GPa, lalu menurun pada fraksi volume 20% menjadi 0,223 GPa, selanjutnya meningkat pada fraksi volume serat 25% menjadi 0,259 GPa, namun peningkatannya kecil yaitu sekitar 11,6%, sehingga dapat dikatakan peningkatan fraksi volume serat tidak berpengaruh terhadap modulus lentur. Selanjutnya regangan lentur pada fraksi volume serat 15% sebesar 6,77 %, menurun pada fraksi volume serat 20% menjadi 6,51%, selanjutnya meningkat menjadi 7,55% pada fraksi volume serat 25%. Peningkatan rata-rata sekitar 11,5% sehingga peningkatan fraksi volume serat tidak berpengaruh terhadap regangan lentur.

4. Simpulan

Sifat-sifat tarik dan lentur komposit berpenguat serat sisal dengan matriks epoxy yang divariasi berdasarkan fraksi volume serat telah dapat diinvestigasi, dan dapat disimpulkan:

- Kekuatan tarik dan modulus elastisitas tarik komposit meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat, dengan nilai tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 25%, yang menghasilkan kekuatan tarik 19,77 MPa dan modulus elastisitas 2,83 GPa. Sementara regangan tarik tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 15%, yaitu sebesar 1,01%.
- Kekuatan lentur, modulus lentur dan regangan lentur komposit meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat dalam komposit, dengan nilai tertinggi terjadi pada fraksi volume serat 25%, dimana kekuatan lentur mencapai 88,48 MPa, modulus elastisitas lentur 0,259 GPa, dan regangan lentur sebesar 7,55%.

Daftar Pustaka

- [1] Gibson, R.F., 1994, Principles of Composite Materials Mechanics. Mc Graw-Hill Series
- [2] Phillips, L.N., 1989, Design with Advanced Composite Materials. Springer-Verlag
- [3] Jamasri, Diharjo, K., Handiko, G.W., 2005, Studi Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Komposit Limbah Serat Sawit Poliester. Prosiding SNTTM-IV, G3, 23-28
- [4] Westman, M.P., Fifield, L.S., Simmons, K.L., Laddha, S.G., Kafentzis, T.A., 2010, Natural Fiber Composites: A Review. U.S. Department of Energy, Pacific Northwest National Laboratory
- [5] Holbery, J., Houston, D., 2006, Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications. JOM, Vol. 58, No. 11, 80-86
- [6] Wambua, P., Ivens, J., Verpoest, I., 2003, Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?. Composite Science and Technology. Vol. 63, 1259-1264
- [7] Bachtiar, D., Sapuan, S.M., Zainudin, E.S., Khalina, A., Dahlan K.Z.M., 2010, The tensile properties of single sugar palm (Arenga Pinnata) fibre. Materials Science and Engineering, Vol. 11, 1-6
- [8] Mohan Rao, K.M., and Mohana Rao, K., 2005, Extraction and tensile properties of natural fibers:

Vakka, date and bamboo, Elsevier, Composite structures

- [9] Diharjo, K., Jamasri, Soekrisno, Rochadjo, H.S.B., 2005, The flexural and impact properties of random and woven kenaf fiber reinforced polyester composite. Prosiding NTTM-IV, G3,13-16
- [10] Irawan, A.P., Soemardi, T.P., Wijalaksmi, K., Reksoprojo, A.H.S., 2011, Tensile and flexural strength of ramie fiber reinforced epoxy composites for socket prosthesis application. International Journal of Mechanical and Material Engineering, Vol. 6, No.1, 46-50
- [11] Azis, S.H., Ansell, M.P., 2004, The effect of alkalization and fibre alignment on the mechanical and thermal properties of kenaf and hemp bast fibre composites: Part 1 – polyester resin matrix. Composites Science and Technology, Vol. 64, 1219-1230
- [12] Mwaikambo, L.Y., Ansell, M.P., 2003, Hemp fibre reinforced cashew nut shell liquid composites. Composite Science and Technology, Vol. 63, 1297-1305
- [13] Joseph, S., Sreekala, M.S., Oommen, Z., Koshy, P., Thomas, S., 2002, A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibres and glass fibres. Composites Science and Technology, Vol. 62, 1857-1868
- [14] Yusoff, M.Z.M., Salit, M.S., 2010, Mechanical Properties of Short Random Oil Palm Fibre Reinforced Epoxy Composites. Sains Malaysiana, Vol. 39. No.1, pp. 87-92
- [15] Hardinnawirda, K., Aisha, S., 2012, Effect of Rice Husks as Filler in Polymer Matrix Composites. Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES) vol.2, pp. 181-186.
- [16] Wijang, W.R., Ariawan, D., 2006, Pengaruh Modifikasi Serat terhadap Karakteristik Komposit UPRs-Cantula. Jurnal Poros Jurusan Teknik Mesin FT-UNTAR, Vol. 9, No. 3, 200-206
- [17] Hariyanto, A., Fitriyanto, W., 2013, Rekayasa dan manufaktur random coconut fiber composites bermatriks epoxy untuk panel interior automotive. Prosiding SNST ke-4. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- [18] Soemardi, T.P., Kusumaningsih, W., Irawan, A.P., 2009, Karakteristik Mekanik Komposit Lamina Serat Rami Epoxy sebagai Bahan Alternatif Soket Protesis. Makara Teknologi Vol 13. No. 2, pp. 96-101.

I Wayan Surata menyelesaikan studi S1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Bandung pada tahun 1984, kemudian melanjutkan program magister dan doktor di bidang Ergonomi di Universitas Udayana. Program magister diselesaikan pada tahun 2001, dan doktor selesai pada tahun 2011.



Bidang penelitian yang diminati adalah ergonomi, komposit, dan rekayasa manufaktur serta beberapa topik yang berkaitan dengan energi terbarukan.