

Penggunaan *Image Tracking* untuk Pengukuran Sifat Mekanik pada Kertas

Rahmawati Munir, Handika Dany Rahmayanti, Nadya Amalia, Sparisoma Viridi dan Mikrajuddin Abdullah[✉]

Fisika Material dan Elektronik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima:
27 Mei 2019

Disetujui:
10 Juli 2019

Dipublikasikan:
11 Juli 2019

Keywords:

Elasticity modulus,
Image Tracking,
Paper A4 100 g

ABSTRAK

Berbagai metode karakterisasi telah digunakan untuk memahami sifat mekanik bahan dengan menggunakan metode yang canggih atau metode paling sederhana. Pada penelitian ini dikembangkan metode sederhana untuk menghitung modulus elastis dengan menggunakan *image tracking* pada kertas A4 (100 g) yang membengkok dengan menerapkan prinsip balok cantilever. Metode ini menggunakan *software video tracker 4.94 (Open Source)* yang dapat dioperasikan dengan OS Windows. Preparasi sampel dilakukan dengan memotong kertas berukuran 16 cm x 5 cm. Pengambilan gambar dilakukan dengan menvariasikan sudut kelengkungannya pada sampel berbentuk persegi panjang (diasumsikan homogen). Profil lentur balok cantilever pada kertas difoto menggunakan kamera digital. *Tracking* koordinat dilakukan pada beberapa titik di setiap segmen sampel. Kebergantungan elastisitas terhadap parameter densitas dan penampang balok cantilever juga menjadi dasar dalam mengembangkan metode pengukuran ini. Data penampang dan kerapatan berdasarkan gambar profil lentur setiap bahan yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung modulus elastisitasnya. Hasil penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan penelitian tentang pengukuran sifat mekanik bahan.

ABSTRACT

There are several characterization methods used to understand the mechanical properties of materials. The existing method start from the most advanced method to the simplest method. A simple method for calculating elastic modulus was developed in this study using *image tracking* on paper A4 (100 g) that bent by applying the cantilever beam principle. This method using *video tracker software 4.94 (Open Source)* that can be operated on Windows Operating System. The sample was prepared by cutting paper 16 cm x 5 cm then took photo of samples by varying curvature angle in a rectangular sample (assumed homogeneous). Flexible beam profiles on paper photographs using a digital camera further tracked the coordinates at several points in each sample segment. The dependence of elasticity on cantilever beam density and cross section parameters is also the basis for developing this measurement method. Therefore, cross section and density data can be used to calculate the elasticity modulus based on the image of the flexural profile on each material obtained. Furthermore, the results of this study may contribute to develop measurement method research on mechanical properties of materials.

PENDAHULUAN

Pengukuran modulus elastisitas relatif tetap sejak berabad-abad yang lalu. Metode sederhana yang telah digunakan adalah seperti uji tarik, regangan ataupun uji tekan (Digilov dan Abramovich, 2013). Pengukuran ini disesuaikan dengan sifat sampel dan ketelitian yang diharapkan. Selain itu, dikembangkan juga metode pengukuran tanpa deformasi sampel seperti menggunakan ultrasonik, resonansi dan lain-lain (Allaire dkk., 2004; ASTM, 2017). Lebih lanjut, Suttner dkk (2017) mengembangkan prinsip deformasi dalam menginvestigasi sifat bahan pada lembaran logam. Metode *Bulge Testing* (Devender, 2018), metode *Fiber Bragg* (Guinchard dkk., 2018) juga telah dikembangkan oleh Devender dkk (2018) untuk mengevaluasi sifat bahan. Sifat mekanis bahan menjadi sangat penting untuk dikaji karena dapat dijadikan sebagai dasar untuk memahami perilaku atau karakteristik bahan. Elanchezhian dkk (2018) telah melakukan kajian sifat mekanis bahan komposit untuk memperoleh performa baru dari bahan-bahan penyusunnya yaitu dengan melalui karakterisasi kekuatan uji tarik. Pemahaman ini menjadi landasan utama dalam industri dan pengolahan serta memungkinkan untuk dikembangkan lebih lanjut untuk menghasilkan produk baru. Berbagai metode pengukuran telah dilakukan untuk mengkarakterisasi berbagai bahan. Pengukuran modulus Young sebagai salah satu bentuk karakterisasi sifat mekanis bahan juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya dengan material berupa kertas fotokopi dengan menggunakan alat *MIT fold endurance test* (Hall dkk., 2018), dan DIN EN ISO 527-2. Dalam pengukuran, berbagai parameter fisis yang terukur bergantung pada kondisi. Misalnya karakteristik bahan yang diukur pada suhu yang berbeda akan menghasilkan sifat yang berbeda pula. Bahan tidak dapat dengan mudah diuji dengan prosedur standar pada suhu penggunaan yang diharapkan atau dengan kata lain masih menghadapi batasan suhu ekstrim. Dengan demikian, sifat mekanik biasanya ditentukan pada suhu yang lebih rendah, dan hanya ekstrapolasi ke suhu tinggi yang tersedia untuk desainer (Gangireddy, 2012).

Penelitian ini berfokus pada prinsip balok cantilever yang bergantung pada parameter fisis berupa momen lentur dari beratnya sendiri. Prinsip balok cantilever juga telah digunakan oleh Krull dkk (2017) dan Oshima dkk (2017) dalam menginvestigasi sifat elastisitas bahan. Setiap sampel dibagi dalam N segmen dengan panjang masing-masing. Segmen pertama dimulai pada ujung bebas dan berakhir pada ujung yang terikat. Sudut lentur pada setiap segmen berbeda-beda karena mengalami momen fleksi yang berbeda pula sepanjang sampel. Sudut lentur pada segmen ke j adalah θ_j yang memenuhi Persamaan 1 (Margaretta dkk., 2018).

$$\theta_j = \theta_{j-1} - \frac{a^3 g}{Y_j I_j} \sum_{i=1}^{j-1} \left(\sum_{k=1}^i \lambda_k \right) \cos \theta_i \quad (1)$$

Dengan I_j adalah momen area, Y_i adalah modulus elastisitas, λ_j adalah kerapatan persatuan panjang pada segmen ke j dan g merupakan percepatan gravitasi bumi. Persamaan (1) dapat dituliskan Persamaan 2.

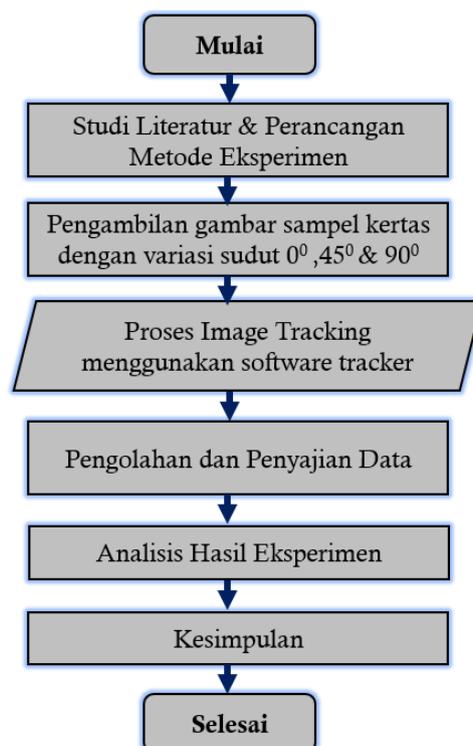
$$Y_j = - \frac{a^3 g}{I_j (\theta_j - \theta_{j-1})} \sum_{i=1}^{j-1} \left(\sum_{k=1}^i \lambda_k \right) \cos \theta_i \quad (2)$$

Persamaan 1 digunakan untuk menghitung modulus elastisitas berlaku pada bahan atau sampel yang bersifat homogen yang memiliki bentuk geometri seperti persegi panjang. Namun untuk menghitung modulus elastisitas yang sifatnya tak homogen misalnya bentuk trapesium dengan lebar yang berubah-ubah jika dibagi dalam N segmen hingga ujung sampel, maka Persamaan (2) ini tidak berlaku. Dalam proses simulasi menggunakan Persamaan (2) untuk menghitung sampel yang homogen. Nilai modulus elastisitas yang tersebar sepanjang sampel dihasilkan sebanyak N. Keseluruhan kalkulasi dilakukan dengan bantuan MS Excel 2016.

Karakterisasi sifat mekanis modulus Young zat padat perlu dilakukan dan mendapatkan perhatian khusus bagi para peneliti sebagai acuan untuk penelitian lanjutan berupa rekayasa bahan. Karena sifat-sifat mekanis bahan ini dapat memberikan peranan penting bagi terciptanya suatu bahan sesuai yang dikehendaki. Sifat-sifat mekanik kertas untuk pemanfaatannya yang efektif. Di antara sifat-sifat mekanik kertas, modulus elastis dan kekuatan tarik (Yoshihara dan Yoshinobu, 2017). Pentingnya karakterisasi sifat mekanis kertas adalah sebagai salah satu bahan yang mewakili bahan lain yang bersifat elastis. Keunikan sifat mekanik kertas fotokopi A4 100 gram adalah melengkung jika salah satu ujungnya tetap membentuk sudut tertentu dan ujung lain bebas. Sifat inilah yang bisa menjadi representatif bahan lain di alam yang bersifat elastis seperti dedaunan tumbuhan tertentu misalnya daun serai, daun kelapa dan lain-lain sehingga dapat terukur sifat elasisitasnya hanya dengan memotret bahan tersebut kemudian mengolahnya menggunakan metode *Image Tracking*.

METODE

Penelitian ini berdasarkan pada perhitungan modulus Young pada material yang homogen. Keseluruhan perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2) untuk material homogen. Pada tahap preparasi, sampel disiapkan berupa kertas A4 100 gram yang dipotong berbentuk persegi panjang dengan ukuran 16 cm x 5 cm. Sampel dijepit dan diletakkan pada suatu dudukan dengan posisi melengkung. Ujungnya yang dijepit sebagai ujung tetap dan ujung lainnya yang dibiarkan menjumbai ke bawah sebagai ujung bebas. Posisi ujung tetap diukur sudutnya dengan tiga variasi sudut yaitu sudut 0° , 45° dan 90° . Menentukan kalibrasi stik 10 cm yang terletak sebidang dengan sampel. Format gambar disimpan dalam bentuk file .jpeg. Tahap selanjutnya dilakukan proses *Image Tracking*, dengan menggunakan *software video tracker* versi 4.94 (*Open source*) yang dapat beroperasi pada OS Windows. Secara umum, tahapan penelitian dalam bentuk bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

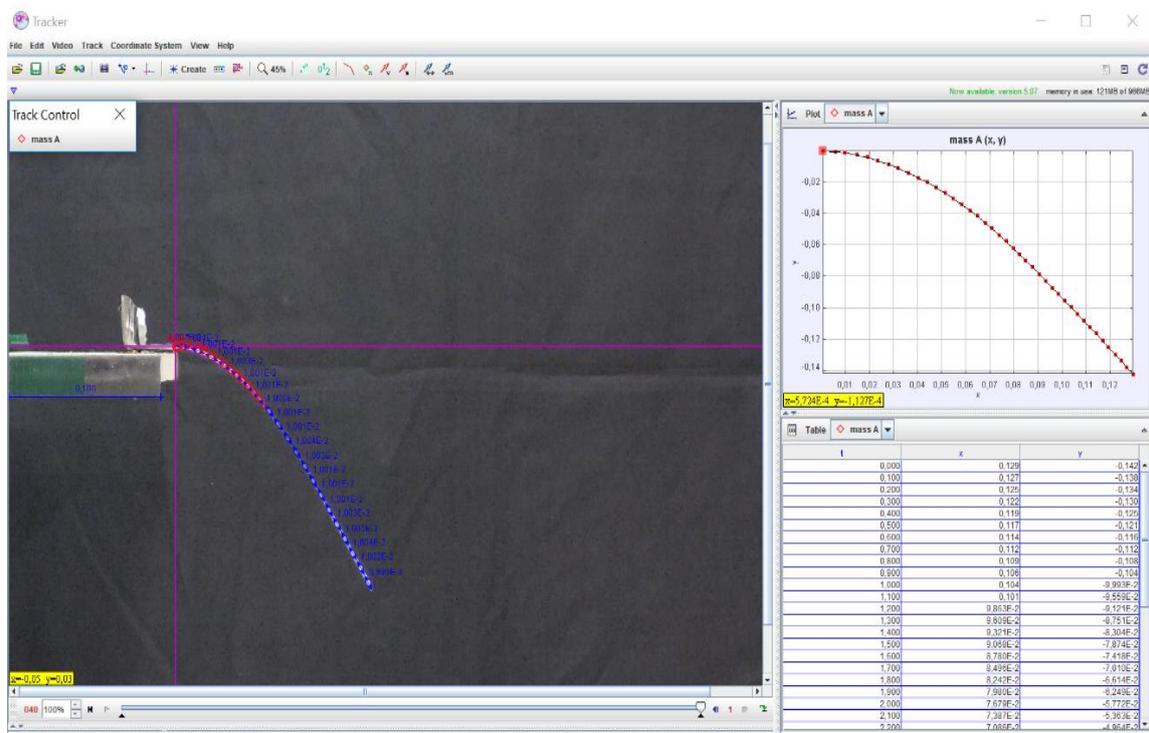


Gambar 1. Bagan alir penelitian

Tahapan pengambilan data diawali dengan membuka gambar sampel menggunakan *software tracker* kemudian mengatur kalibrasi stiknya dengan menentukan panjang sebesar 10 cm disesuaikan dengan panjang kalibrasi pada saat pengambilan gambar. Selanjutnya menampilkan sumbu koordinat yang pusatnya diletakkan pada ujung tetap sampel pada titik xy (0,0). Langkah selanjutnya membagi 20 segmen dengan menggunakan *calibration tape*. Pembagian segmen di sepanjang sampel kertas berguna untuk membantu melakukan *tracking* koordinat titik pada posisi xy. Output hasil *tracking* ditampilkan juga pada layar program *tracker*, sebagai data untuk melakukan perhitungan modulus Young. Perhitungan modulus Young diperlukan simulasi MS Excel.

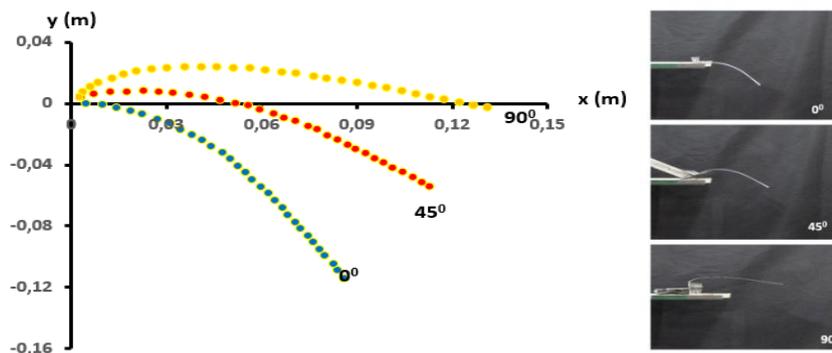
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembagian segmen pada sampel kertas dan perolehan data dari hasil *Image Tracking* ditunjukkan pada Gambar 2. Output program yang merupakan data *tracking* dan grafik dalam bentuk 2D dengan koordinat titik xy ditampilkan pada layar program. Hasil *tracking* pada Gambar 2 adalah sampel dengan sudut kelengkungan 0° .



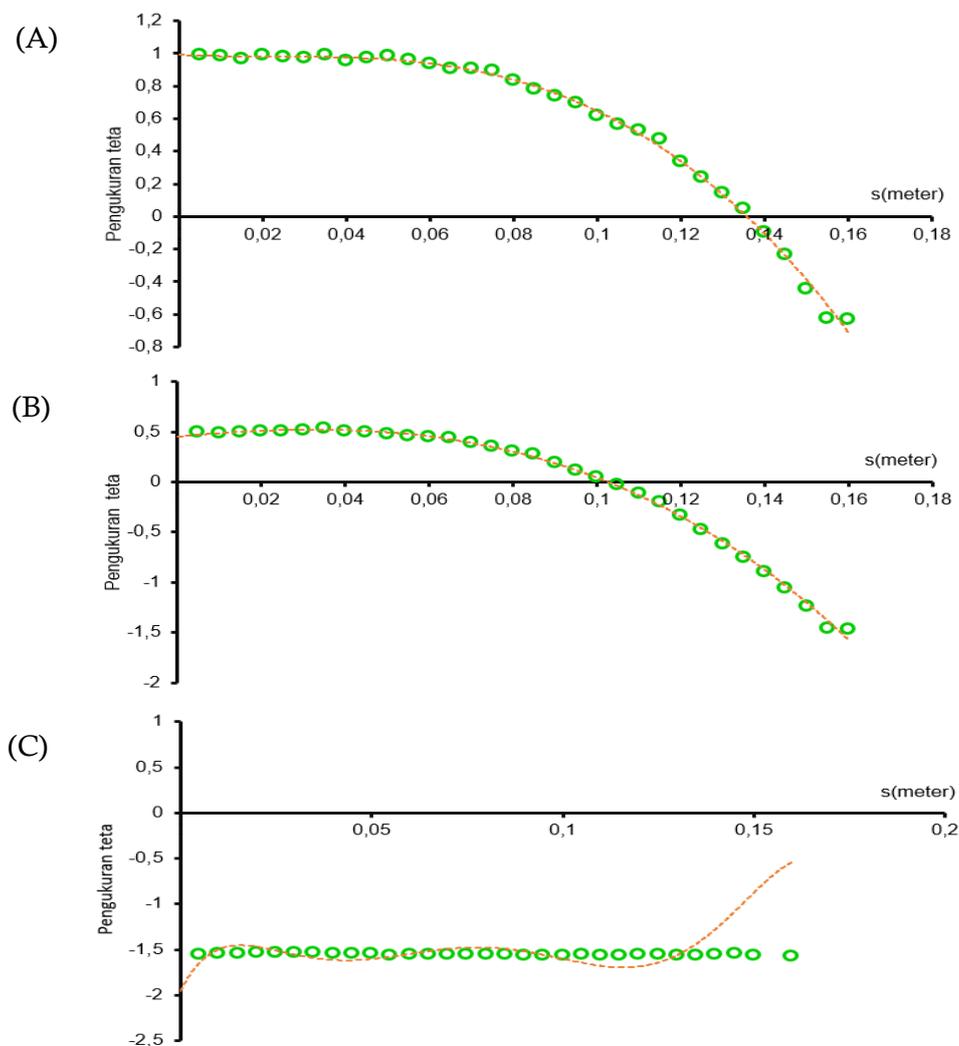
Gambar 2. Perolehan data hasil *Image Tracking* pada sampel dengan kelengkungan 0° menggunakan *software tracker*

Poin massa setiap segmen terdiri dari dua titik sehingga diperoleh poin massa pada *image* sampel sebanyak 40 titik koordinat pada sumbu x-y. Keseluruhan data hasil *Image Tracking* berbagai sudut kelengkungan ditunjukkan pada Gambar 3 dalam bentuk grafik. Tampak bahwa profil setiap sampel berbeda berdasarkan sudut kelengkungan masing-masing.



Gambar 3. Plot perolehan data hasil *Image Tracking* pada sampel dengan kelengkungan 0° , 45° dan 90° menggunakan *software tracker*

Perolehan data hasil *Image Tracking* difitting dengan menggunakan persamaan polinomial seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik fitting data eksperimen (bentuk bulat berwarna hijau), teori (garis putus-putus berwarna jingga) pada sampel berbentuk kertas segi panjang. (a) sudut kelengkungan

0° , (b) sudut kelengkungan 45° dan (c) sudut kelengkungan 90° menggunakan MS Excel

Data eksperimen yang diperoleh pada sampel persegi panjang pada sudut 0° , 45° dan 90° difitting bersesuaian dengan persamaan polinomial orde 4, orde 3 dan orde 7 berturut-turut menggunakan Persamaan (3), (4) dan (5).

$$y = 817,9x^4 - 821,07x^3 + 51,176x^2 - 1,1731x + 0,9922 \quad (3)$$

$$y = -400,35x^3 - 38,988x^2 + 3,796x + 0,4529 \quad (4)$$

$$y = -10^7 x^6 + (7 \times 10^6) x^5 - 10^6 x^4 + 113466x^3 - 4735,4x^2 + 82,746x - 1,9513 \quad (5)$$

Berdasarkan Persamaan (3), (4) dan (5) selanjutnya dilakukan simulasi dengan menggunakan MS Excel kemudian dilakukan perhitungan modulus Young dengan menggunakan Persamaan (2). Beberapa parameter yang diperlukan untuk melakukan perhitungan diantaranya panjang sampel kertas 0,16 m, lebar kertas 0,05 m, tebal kertas 0,00012 m dan massanya 0,001. Berdasarkan data ini juga dihitung massa jenis kertas sampel. Hasil perhitungan modulus Young untuk sampel dengan sudut kelengkungan 0° sebesar $4,58 \times 10^9$ Pa (4,58 GPa), sampel dengan sudut kelengkungan 45° sebesar $1,27 \times 10^9$ (1,27 GPa), sampel dengan sudut kelengkungan 90° sebesar $0,2 \times 10^9$ (0,2 GPa).

Persamaan polinomial orde 7 untuk sampel dengan sudut kelengkungan 90° menghasilkan nilai modulus Young yang paling kecil dan berselisih jauh dari yang lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa posisi ini kurang tepat untuk melakukan pengambilan data. Berdasarkan hasil pengukuran uji tarik pada sampel kertas diperoleh nilai modulus Young pada rentang 1,4-2,1 GPa, maka sampel yang paling mendekati nilainya adalah sampel dengan sudut kelengkungan 45° sebesar $1,27 \times 10^9$ (1,27 GPa). Sedangkan untuk sudut kelengkungan 0° , masih memberi potensi untuk dioptimasi karena nilai modulus Youngnya tidak begitu jauh dan masih dalam orde yang sama dengan sampel dengan sudut kelengkungan 45° . Penelitian sebelumnya, modulus elastis kertas fotokopi pada suhu kamar juga telah diperoleh nilai dalam kisaran 3-4 GPa (Amalia dkk., 2018), yang mendekati nilai yang dilaporkan orang lain (Okomori dkk., 1999). Dengan demikian metode ini dapat berpotensi untuk dikembangkan lebih jauh lagi dengan melakukan uji coba pada bahan yang bentuk geometrinya tidak homogen.

Berdasarkan hasil perhitungan dan hasil pengukuran dengan menggunakan alat uji tarik maka diperoleh ketepatan atau error dari modulus Young yang dihitung *adalah* sebagai berikut :

$$E = \frac{Y_u - Y_h}{Y_u} \times 100\%$$

$$E = \frac{1,4 - 1,27}{1,4} \times 100\% = 9\%$$

dengan Y_u : Modulus Young hasil pengukuran

Y_h : Modulus Young hasil perhitungan

Error dari estimasi modulus Young yang dihitung adalah 9%. Hal ini berarti prosedur telah dapat memperkirakan modulus elastis dengan penyimpangan dari hasil pengukuran kurang dari 10%. Nilai yang lebih kecil penyimpangannya dibandingkan dengan hasil yang telah diperoleh oleh Amalia dkk (2018) yaitu kisaran 16%.

SIMPULAN

Pengukuran sifat mekanik telah berhasil dilakukan pada kertas A4 100 gram dengan menggunakan *Image Tracking* yang menghasilkan nilai modulus Young. Berdasarkan nilai modulus

Young yang diperoleh dengan posisi sampel berbagai sudut kelengkungan diperoleh nilai yang paling mendekati dengan hasil pengukuran uji tarik yaitu sampel dengan sudut kelengkungan 45° .

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kementerian Riset dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Hibah Disertasi Doktor (PPD) tahun anggaran 2019.

REFERENSI

- Allaire, C., Allaire, J. dan A. Carbonneau. *in Light Met.* USA: John Wiley & Sons, Hoboken.
- Amalia, N., Yuliza, E., Margareta, D. O., Utami, F. D., Surtiyeni, N., Viridi, S., dan Abdullah, M. (2018). A novel method for characterizing temperature-dependent elastic modulus and glass transition temperature by processing the images of bending cantilever slender beams at different temperatures. *AIP Advances*, 8 (11), 115201.
- ASTM E111. (2017). Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus, *ASTM International*.
- Devender, V., Mahesh, V., dan Gopikrishna, N. (2018). Evaluation of Young's Modulus and Poisson's Ratio using Bulge Test. *Research Journal of Engineering and Technology*, 9 (1), 75-84.
- Digilov, R. M. dan Abramovich, H. (2013). Flexural vibration test of a beam elastically restrained at one end: A new approach for Young's modulus determination. *Advances in Materials Science and Engineering*.
- Elanchezhian, C., Ramnath, B. V., Ramakrishnan, G., Rajendrakumar, M., Naveenkumar, V., dan Saravanakumar, M. K. (2018). Review on mechanical properties of natural fiber composites. *Materials Today: Proceedings*, 5 (1), 1785-1790.
- Gangireddy, S. (2012). Noncontact mechanical testing at high temperature using electromagnetic forces. *Dissertation*, The University of Michigan.
- Guinchard, M., Bertarelli, A., Catinaccio, A., Bianchi, L., Capatina, O., Ferracin, P. dan Cabon, M. (2018). Mechanical Strain Measurements Based on Fiber Bragg Grating Down to Cryogenic Temperature-R&D Study and Applications. *9th International Particle Accelerator Conference*, 2572-2574.
- Hall, A. K., O'Connor, T. C., McGath, M. K. dan McGuiggan, P. (2018). The Bending Mechanics of Aged Paper. *Journal of Applied Mechanics*, 85 (7), 071005.
- Krull, B., Patrick, J., Hart, K., White, S. dan Sottos, N. (2016). Automatic optical crack tracking for double cantilever beam specimens. *Experimental Techniques*, 40 (3), 937-945.
- Margareta, D. O., Amalia, N., Utami, F. D., Viridi, S. dan Abdullah, M. (2018). Second Order Phase Transition and Universality of Self-Buckled Slender Elastic Beams. *arXiv preprint arXiv:1810.04861*.
- Okomori, K., Enomae, T. dan Onabe, F. (1999). Evaluation and control of coated paper stiffness. *Proceedings of Tappi Advanced Coating Fundamentals Symposium*, 121-132.
- Oshima, S., Yoshimura, A., Hirano, Y. dan Ogasawara, T. (2018). Experimental method for mode I fracture toughness of composite laminates using wedge loaded double cantilever beam specimens. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 112, 119-125.
- Suttner, S. dan Merklein, M. (2017). A new approach for the determination of the linear elastic modulus from uniaxial tensile tests of sheet metals. *Journal of Materials Processing Technology*, 241, 64-72.
- Yoshihara, H. dan Yoshinobu, M. (2017). Determination of the Mode I critical J-integral of copy paper. *Engineering Fracture Mechanics*, 169, 251-261.