



Eksperimen Elastisitas Bahan yang Divariasikan dengan Menerapkan Prinsip *Cantilever Beam* di Masa Pandemi Covid-19

Rahmawati Munir^{1,*}, Nadya Amalia², Dui Yanto Rahman³, Desiana Olenka Margareta⁴, Erlinda Ratnasari Putri¹

¹Program Studi Fisika, Fakultas MIPA Universitas Mulawarman, Jalan Barong Tongkok No 4, Samarinda 75123 Indonesia

²Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Wilayah Puspitek Gedung 470, Tangerang Selatan, 15314 Indonesia

³Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas PGRI Palembang, Jalan Jend. Ahmad Yani Lorong Gotong Royong, 9/10 Ulu Palembang 30116 Indonesia.

⁴Tadris Fisika, UIN Sayyid Ali Rahmatullah, Jalan Mayor Sjadi No.46, Tulungagung, Jawa Timur 66221 Indonesia

⁵Program Studi Geofisika, Fakultas MIPA Universitas Mulawarman, Jalan Barong Tongkok No 4, Samarinda 75123 Indonesia

*E-mail korespondensi: rahma.mipaunmul@gmail.com

Abstrak

Saat ini pandemi Covid-19 telah menjadi faktor yang sangat berpengaruh dalam melakukan penelitian. Oleh sebab itu, umumnya penelitian yang dilakukan menyesuaikan kondisi sekarang dengan memanfaatkan alat dan bahan yang mudah diperoleh dan bisa dikerjakan dari rumah atau secara virtual. Pada penelitian ini dilakukan eksperimen elastisitas bahan berdasarkan prinsip *Cantilever Beam* yang bisa dilakukan di rumah. Preparasi sampel dilakukan dengan memotong kertas dengan variasi bentuk geometri dan densitasnya. Adapun geometri yang dipilih adalah persegi panjang dan trapesium. Persegi panjang divariasikan densitasnya dengan variasi kertas polos, melapisi pilox sepanjang sampel dan juga pilox berselingan. Sementara yang berbentuk trapesium ditentukan dengan variasi polos dan dipilox sepanjang sampel. Eksperimen sederhana dilakukan dengan melakukan pemotretan pada sampel dengan sudut kelengkungan 0° , 45° dan 90° . Hasil pemotretan diolah dengan menggunakan aplikasi *Video Tracker Analysis*, *Visual Basic Application* dan *fitting polynomial* dengan Excel. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai modulus young setiap sampel tanpa harus melakukan pengukuran langsung dengan alat yang canggih serta bisa dilakukan di rumah selama pandemi Covid-19. Eksperimen ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat menghasilkan metode baru dalam pengukuran elastisitas bahan.

Kata Kunci: Modulus Young, *Cantilever Beam*, eksperimen sederhana

PENDAHULUAN

Pandemi Covid-19 belum berakhir hingga saat ini. Salah satu dampak dari pandemi ini, adalah upaya pengembangan pembelajaran sains. Banyak kegiatan eksperimen sains yang mengharuskan untuk beradaptasi dengan keadaan sekarang ini. Adaptasi ini ditandai dengan beralihnya kegiatan luring menjadi daring atau virtual. Oleh sebab itu banyak dikembangkan metode eksperimen yang tidak bergantung dengan alat-alat yang tersedia di laboratorium akan tetapi mendesain sendiri dengan alat dan bahan yang mudah diperoleh, didukung oleh berbagai aplikasi serta dengan biaya murah. Salah satu bentuk karakterisasi sifat bahan dapat didesain untuk dilakukan secara mudah adalah uji elastisitas. Secara umum pengujian sifat elastisitas bahan dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik yang dikenal dengan *Tensile Strength*. Namun alat ini tentu saja hanya bisa digunakan di laboratorium. Oleh sebab itu, pada penelitian ini difokuskan untuk melakukan eksperimen tanpa menggunakan alat uji tarik untuk menentukan sifat elastisitas suatu bahan yang berbentuk lembaran[1]. Hal ini memungkinkan kegiatan pengukuran dapat dilakukan di masa pandemi yang mengharuskan belajar atau bekerja dari rumah.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengukuran elastisitas bahan dengan bahan yang divariasikan baik ukuran, bentuk geometri maupun densitasnya. Metode pengukurannya dirancang dengan menggunakan alat dan bahan yang mudah diperoleh di sekitar kita. Eksperimen ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat menghasilkan metode baru dalam pengukuran elastisitas bahan semisal berbasis android dengan mengembangkan programnya. Akan memberi peluang dimana suatu bahan cukup dipotret maka nilai elastisitasnya langsung bisa terukur tanpa melakukan pengukuran langsung atau tidak mengalami kontak langsung. Dengan demikian bahan yang diukur tidak mengalami kerusakan saat dilakukan preparasi sampel.

TINJAUAN PUSTAKA

Masa pandemi Covid-19 sejak tahun 2020 hingga saat ini belum berakhir, menuntut pelaksanaan pembelajaran sains untuk ikut beradaptasi agar tetap berjalan. Seperti misalnya pengukuran sifat elastisitas bahan, yang memungkinkan untuk dilakukan tanpa harus di laboratorium. Beberapa peneliti telah mengembangkan metode pengukuran sifat mekanis bahan yang tidak menyebabkan deformasi bahan seperti menggunakan ultrasonik, resonansi dan lain-lain [2],[3]. Ada pula yang mengembangkan prinsip deformasi dalam mengkarakterisasi sifat bahan pada lembaran logam sebagaimana dilaporkan oleh Devender dan Guinchard [4],[5].

Eksperimen pengukuran ini menjadi penting untuk mengenalkan bagaimana karakteristik suatu bahan dengan menggunakan prinsip *Cantilever Beam* R. Pada prinsipnya bergantung pada parameter fisis yang berupa momen lentur dari beratnya itu sendiri (Rahmawati dkk, 2019). Sifat elastisitas bahan ini juga telah dikaji oleh Krull [6] dan Oshima [7] dalam mengevaluasi sifat bahan. Dimulai dengan pembagian segmen pada ujing bebas dan berakhir pada ujung tetap. Sudut kelengkungan pada setiap segmen berbeda-beda karena mengalami momen fleksi yang berbeda pula sepanjang sampel. Sudut lengkung pada segmen ke j adalah θ_j yang memenuhi persamaan (1) [8],[9].

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

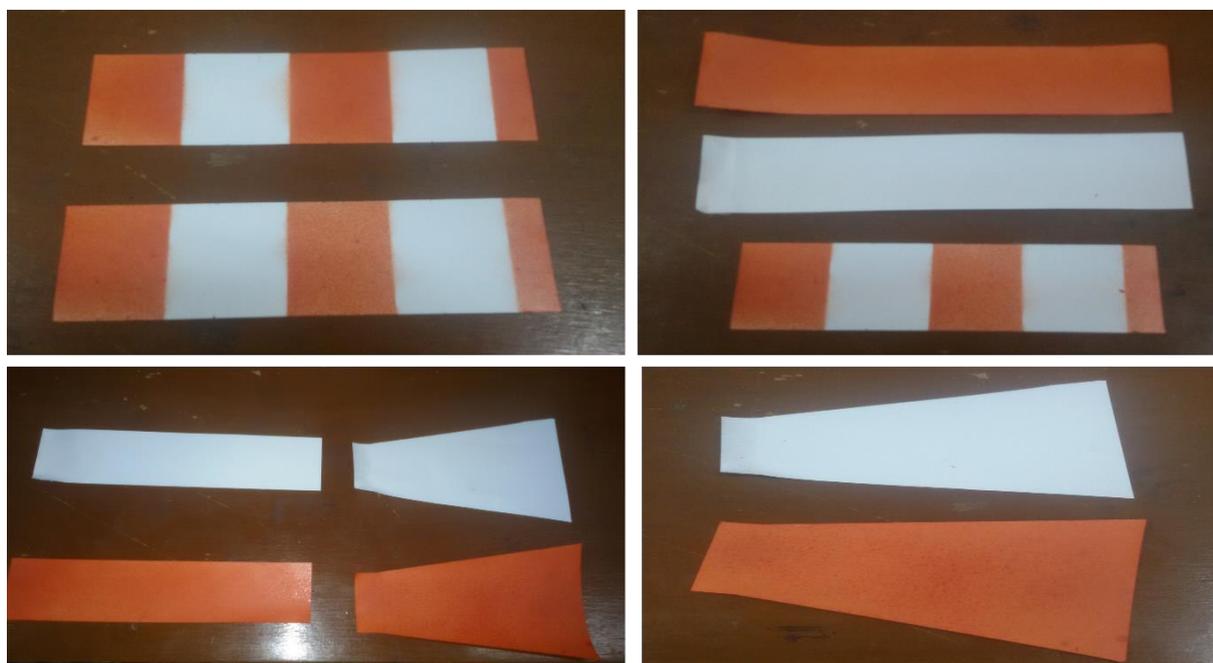
Dengan I_j adalah momen area, Y_j merupakan modulus elastisitas, λ_k adalah kerapatan persatuan panjang pada segmen ke j dan g merupakan percepatan gravitasi bumi. Persamaan (1) juga dapat dituliskan dalam bentuk ungkapan [10].

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

Persamaan (1) dan (2) digunakan dalam perhitungan modulus elastisitas bahan pada penelitian ini dengan mengimplentasikan dalam program Excel.

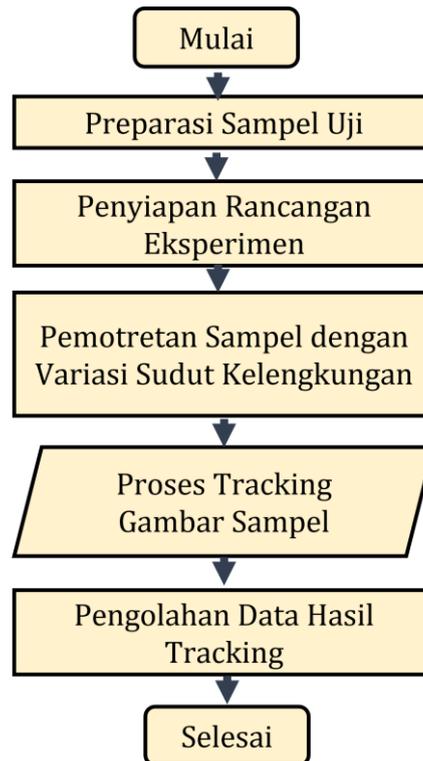
METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan melakukan preparasi sampel dengan memotong kertas dengan variasi ukuran dan bentuk geometri (Gambar 1).



Gambar 1. Variasi bentuk dan densitas pada sampel berbentuk lembaran

Sedangkan tahapan pengambilan data ditunjukkan pada diagram alir penelitian (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Selanjutnya dilakukan dibuat rancangan eksperimen dengan menggunakan properti berupa penggaris, batang besi serta busur untuk mengukur sudut kelengkungan sampel. Tahapan berikutnya dengan melakukan pemotretan sampel dengan menambahkan properti lakban dengan panjang tertentu sebagai kalibrasi stik. Pemotretan ini dilakukan berulang-ulang dengan variasi sudut kelengkungan. Kemudian gambar sampel ditrack menggunakan *Video Track Analysis software (VTA)*. Hasil *tracking* disimulasikan dengan menggunakan program Excel. Selanjutnya output yang dihasilkan berupa nilai modulus Young dari setiap sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan dengan menggunakan panjang sampel kertas A4 100g $L = 0,16$ m. panjang segmen ditentukan sebagai $a = 0,0005$ m untuk semua nilai panjang L yang diperhitungkan. Tiga sudut tetaN, yaitu 0° , 45° dan 90° ditinjau untuk masing – masing sampel. Variasi sampel ditentukan dengan bentuk geometri yang berbeda. Geometri yang dipilih berbentuk persegi panjang dan trapesium. Persegi panjang divariasi densitasnya dengan variasi kertas polos, melapisi pilox sepanjang sampel dan juga dipilox secara berselingan. Sementara yang berbentuk trapesium ditentukan dengan variasi polos dan dipilox sepanjang sampel.

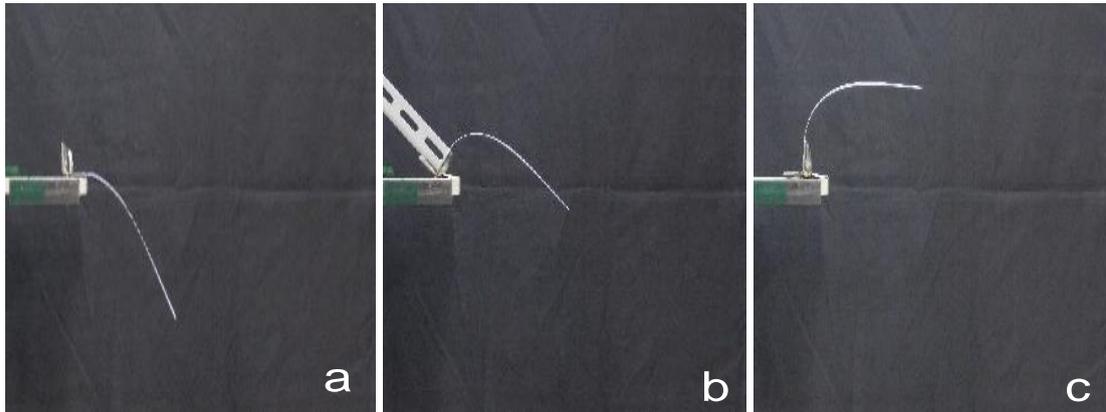
Data eksperimen diperoleh melalui *image processing* dengan menggunakan perangkat lunak *video tracker* versi 4.94 (*open source*) dengan melakukan *track* poin massa pada setiap segmen yang telah dibagi menjadi 16 segmen. Poin massa setiap segmen terdiri dari dua titik sehingga diperoleh poin massa pada *image* sampel sebanyak 32 titik koordinat pada sumbu x-y. Selanjutnya simulasi dilakukan dengan dengan $N = 320$, kelipatan 10 dari data eksperimen.

A. Kertas Persegi Panjang (polos)

Panjang = 0,16 m

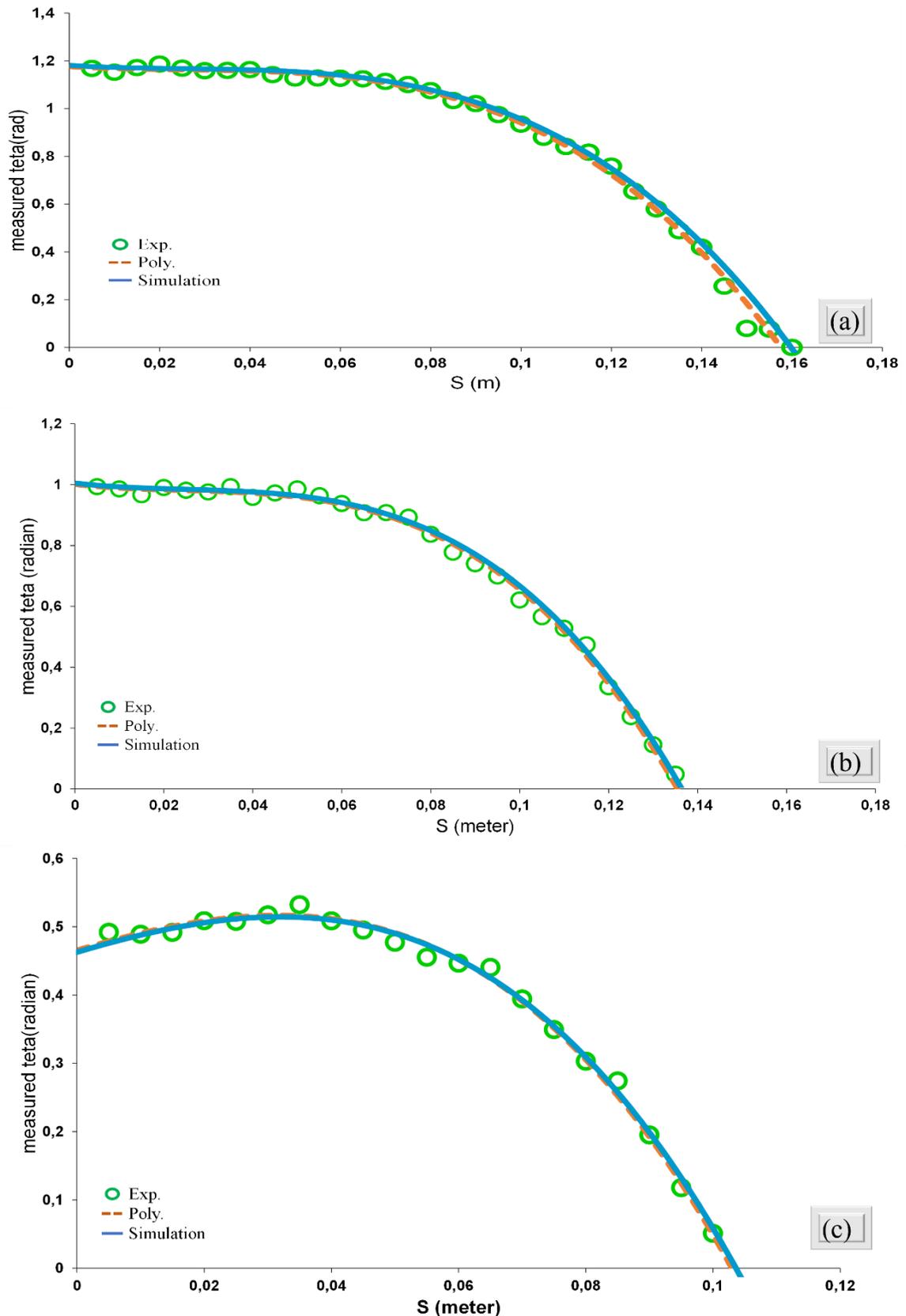
Lebar = 0,05 m

Massa = 0,001 kg
Tebal = 0,00012 m
Hasil Eksperimen



Gambar 3. Hasil eksperimen bending kertas dengan panjang (polos) 0,16 m menggunakan sudut tetap (a) $0^{\circ} = 0$ rad, (b) $45^{\circ} = 0,785$ rad, (c) $90^{\circ} = 1,571$ rad

Gambar 3. Menunjukkan hasil eksperimen dengan melakukan pemotretan pada 3 buah sampel yang berbentuk persegi panjang. Sudut divariasikan sehingga memberikan profil lengkungan yang berbeda-beda. Kalibrasi stik pada saat pemotretan ditandai dengan lakban berwarna hijau untuk membantu proses *tracking* setiap titik poin pada sampel tersebut. Selanjutnya dilakukan *tracking* dan simulasi perhitungan modulus Young. Grafik hasil simulasi perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik bending kertas persegi panjang (polos) hasil eksperimen, fitting data polynomial dan simulasi pada sudut tetap $0^{\circ} = 0$ radian, $45^{\circ} = 0,785$ radian dan $90^{\circ} = 1,571$ radian.

Dengan menggunakan persamaan (1), dilakukan perhitungan dari hasil tracking sampel 1 (Gambar 4a), sampel 2 (Gambar 4b) dan sampel 3 (Gambar 4c) dan diplot dalam bentuk grafik. Profilnya dapat dibandingkan antara hasil eksperimen, hasil perhitungan dan hasil simulasi polinomial. Nilai modulus Young pada kertas sampel Gambar 3 adalah 2,42 GPa (sudut 0°); 2,18 GPa (sudut 45°) dan 2,32 GPa (Sudut 90°).

B. Kertas Persegi Panjang (dipilox)

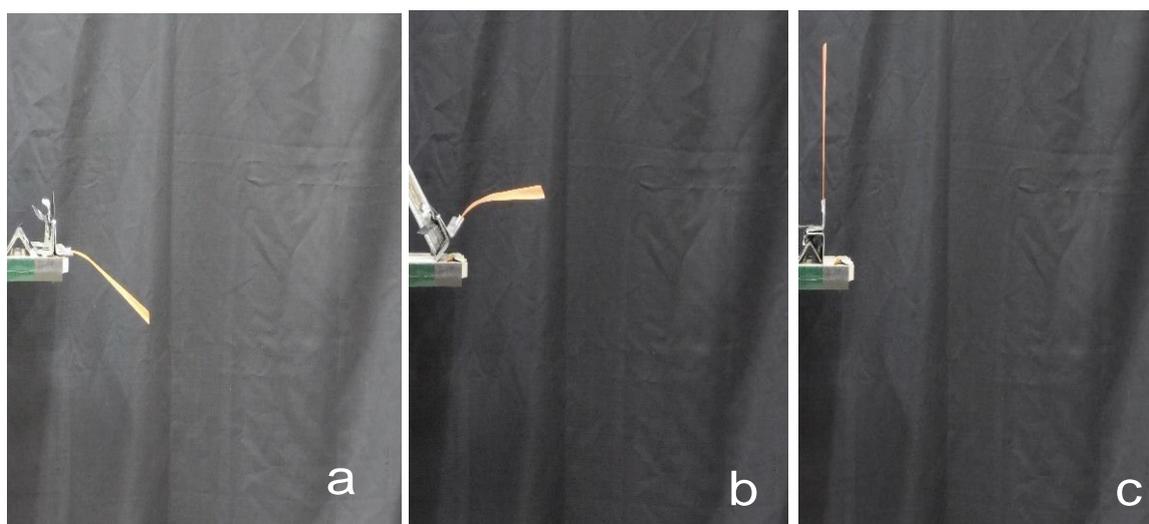
Panjang = 0,16 m

Lebar = 0,05 m

Massa = 0,001 kg

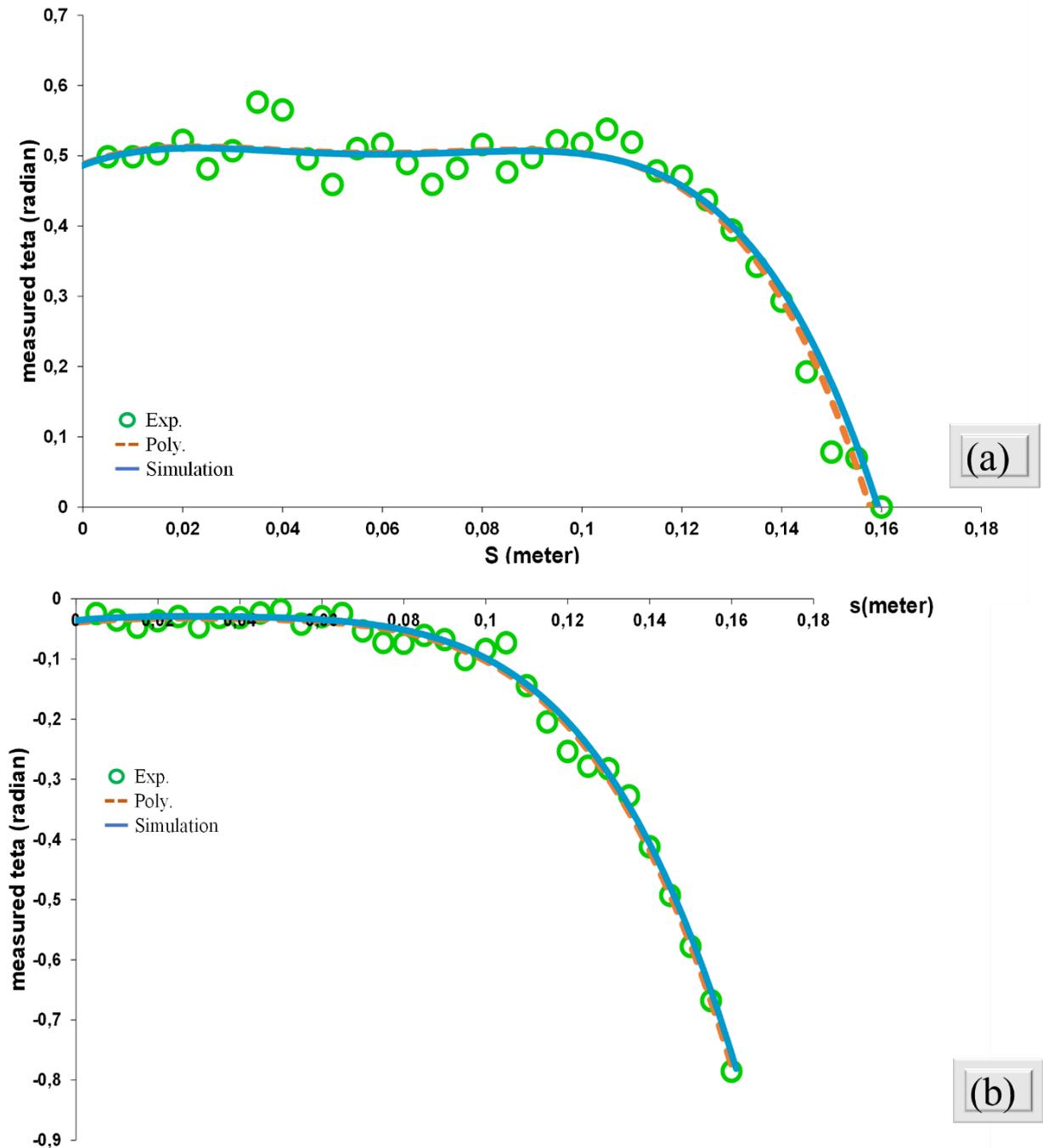
Tebal = 0,00013 m

Hasil eksperimen



Gambar 5. Hasil eksperimen bending kertas dengan panjang (dipilox) 0,16 m menggunakan sudut tetap (a) $0^{\circ} = 0$ rad, (b) $45^{\circ} = 0,785$ rad, (c) $90^{\circ} = 1,571$ rad

Hasil eksperimen dengan melakukan pemotretan pada 3 buah sampel yang berbentuk persegi panjang yang telah dipilox (penambahan massa, perubahan densitas) ditunjukkan pada Gambar 5. Sudutnya juga divariasikan sehingga memberikan profil lengkungan yang berbeda-beda pula. Tampak bahwa pada sudut 90° tidak menunjukkan kelengkungan karena sifat bahan berubah dan lebih kaku dibandingkan sebelum dilapisi pilox. Selanjutnya dilakukan *tracking* dan simulasi perhitungan modulus Young Grafik hasil simulasi perhitungan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik bending kertas persegi panjang (dipilox) hasil eksperimen, fitting data polynomial dan simulasi pada sudut tetap: (a) $0^\circ = 0$ radian dan (b) $45^\circ = 0,785$ radian.

Kertas yang dipilox menunjukkan kenaikan nilai modulus Young. Berturut – turut sampel dengan sudut ujung tetap 0° , modulus Young 2,42 GPa menjadi 2,18 GPa dan sudut 45° , Modulus Young 5,51 GPa menjadi 7,59 GPa. Kenaikan modulus Young ini disebabkan adanya perubahan nilai parameter kertas sebelum dan sesudah dipilox. Kertas yang dipilox mengalami penambahan ketebalan dan perubahan densitas. Sedangkan untuk sudut ujung tetap 90° , pada sampel yang dipilox tidak lagi mengalami kelengkungan, sehingga kami tidak dapat melakukan perhitungan modulus Young menggunakan metode ini. Jika dibandingkan dengan sampel kertas persegi panjang dipilox (Gambar 5), tampak bahwa kelengkungan berubah pada setiap sudut. Bahkan pada sudut ujung tetap 90° tidak membentuk kelengkungan sama sekali. Hal ini disebabkan, kertas mengalami peningkatan kekakuan setelah dipilox.

C. Kertas Trapesium (polos)

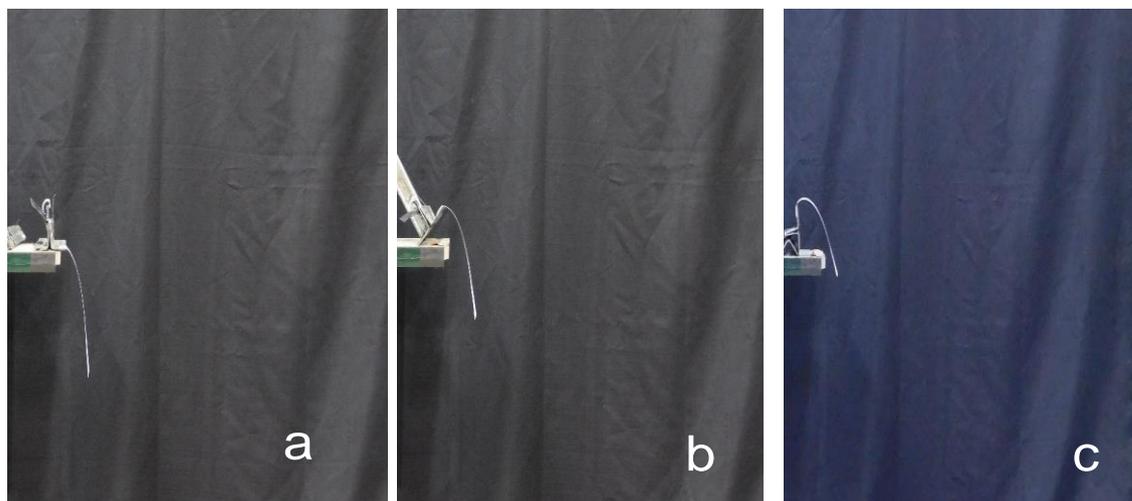
Panjang = 0,16 m

Lebar1 = 0,10 m

Lebar2 = 0,05 m

Massa = 0,0014 kg

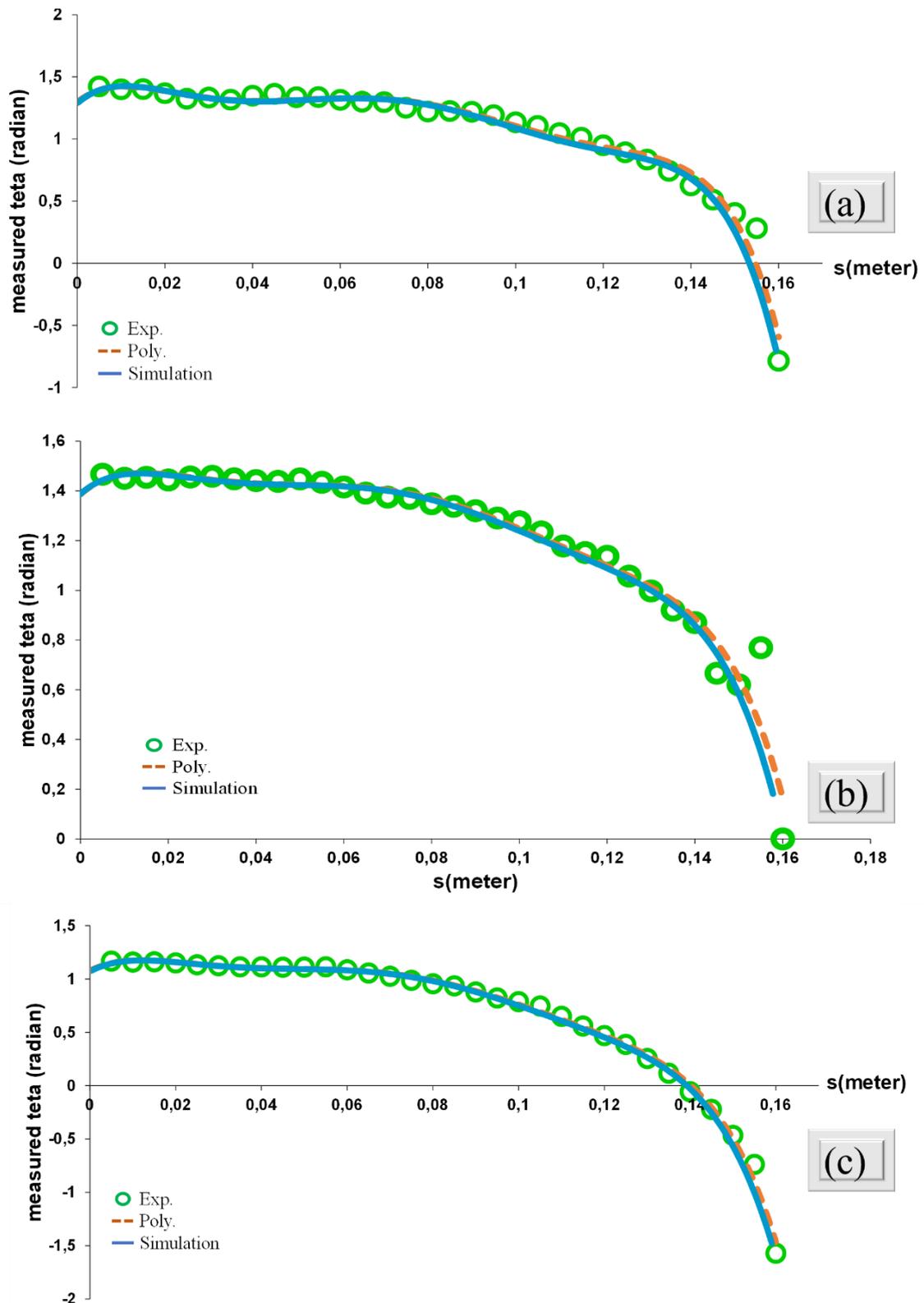
Tebal = 0,00012 m



Hasil Eksperimen

Gambar 7. Hasil eksperimen bending kertas berbentuk trapesium (polos) 0,16 m menggunakan sudut tetap (a) $0^{\circ} = 0$ rad, (b) $45^{\circ} = 0,785$ rad, (c) $90^{\circ} = 1,571$ rad.

Variasi bentuk geometri selanjutnya adalah kertas polos berbentuk trapesium dengan ujung tetap yang berukuran kecil dan ujung bebas berukuran yang lebih besar. Hasil eksperimen dengan melakukan pemotretan pada 3 buah sampel yang berbentuk trapesium (perubahan geometri) ditunjukkan pada Gambar 7. Sudutnya juga divariasikan sehingga memberikan profil lengkungan yang berbeda-beda pula. Tampak bahwa kelengkungannya lebih lentur karena pengaruh massa ujung bebasnya lebih besar. Selanjutnya dilakukan *tracking* dan simulasi perhitungan modulus Young Grafik hasil simulasi perhitungan ditunjukkan pada Gambar 6. Perhitungan kali ini menggunakan persamaan (2) karena terjadi perubahan bentuk geometri



Gambar 8. Grafik bending kertas persegi berbentuk (polos) hasil eksperimen, fitting data polynomial dan simulasi pada sudut tetap: (a) $0^\circ = 0$ radian, (b) $45^\circ = 0,785$ radian dan (c) $90^\circ = 1,571$ radian.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (2) pada sampel kertas polos berbentuk trapesium diperoleh nilai modulus Young berturut-turut 1,43 GPa; 3,46 GPa dan 7,21 GPa. Nilainya memberikan perbedaan dengan kertas polos yang bentuk geometernya berbeda yaitu persegi panjang.

D. Kertas Trapesium (dipilox)

Panjang = 0,16 m

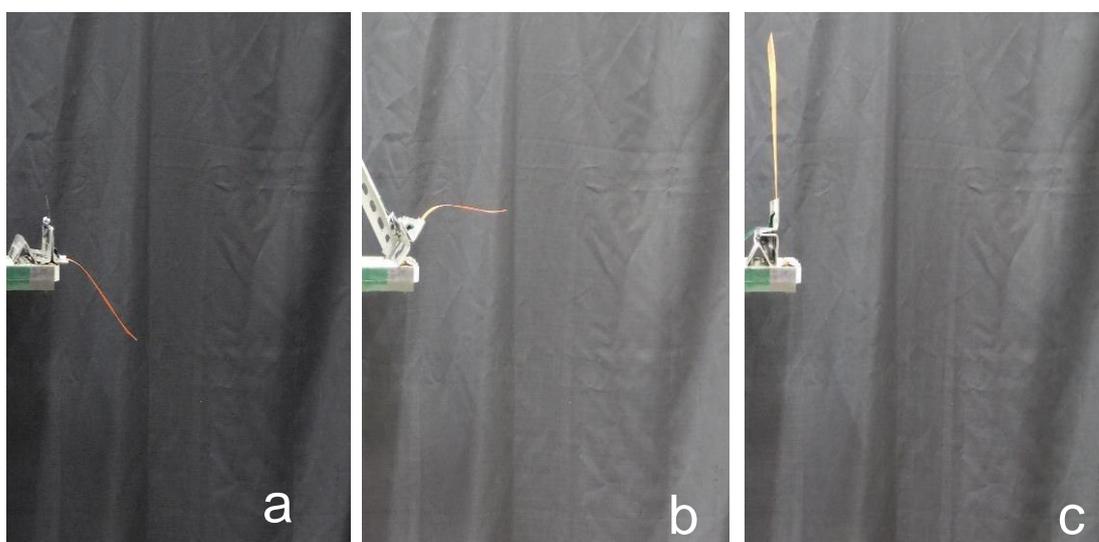
Lebar1 = 0,10 m

Lebar2 = 0,05 m

Massa = 0,0018 kg

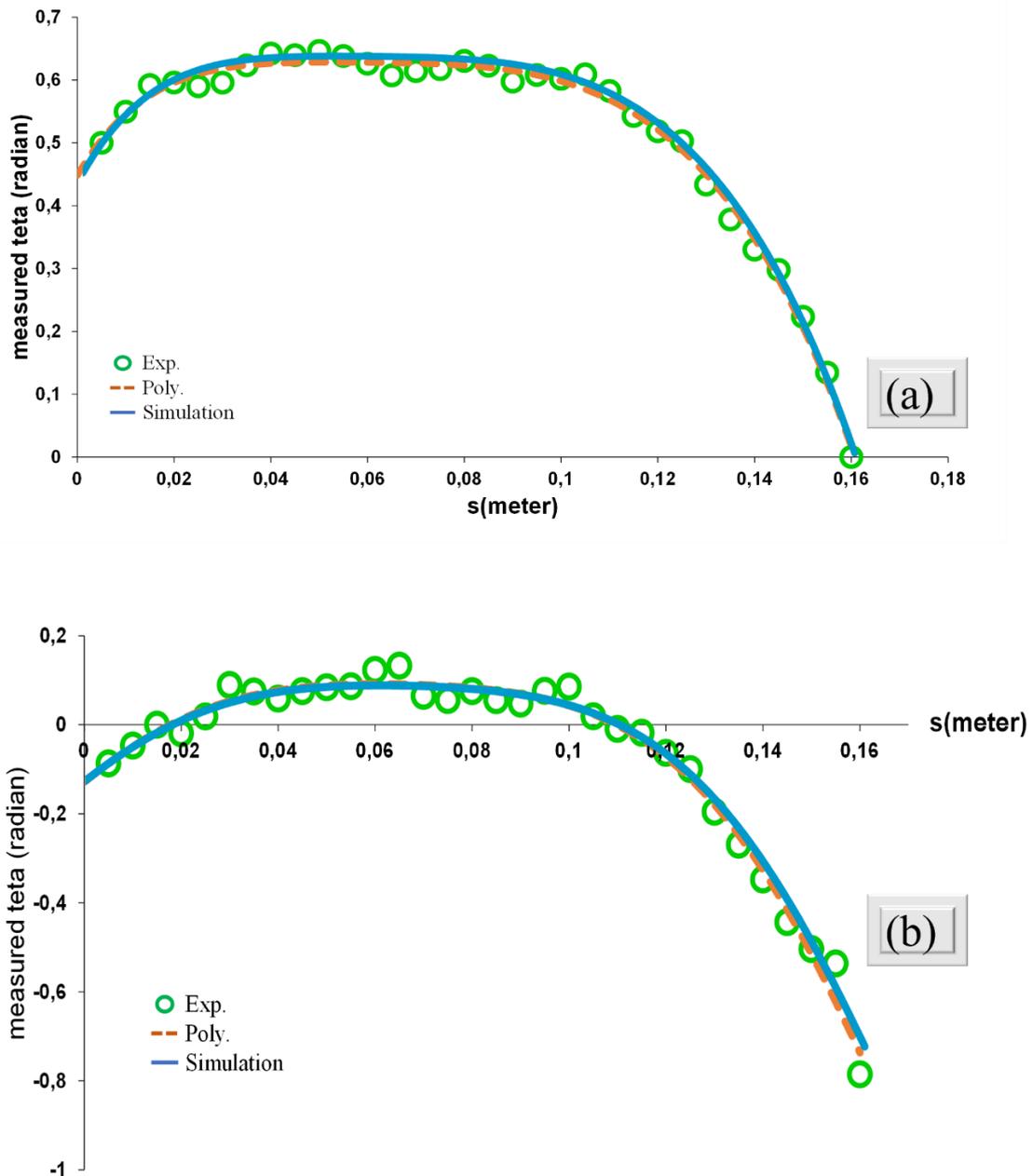
Tebal = 0,00013 m

Hasil Eksperimen



Gambar 9. Hasil eksperimen bending kertas berbentuk trapesium (dpilox) 0,16 m menggunakan sudut tetap (a) $0^{\circ} = 0$ rad, (b) $45^{\circ} = 0,785$ rad, (c) $90^{\circ} = 1,571$ rad

Gambar 9 adalah trapesium yang telah dipilox (perubahan geometri dan densitas) dengan ujung tetap yang berukuran kecil dan ujung bebas berukuran yang lebih besar. Hasil eksperimen dengan melakukan pemotretan pada 3 buah sampel. Ketika sudutnya juga divariasikan sehingga memberikan profil lengkungan yang berbeda-beda pula. Tampak bahwa kelengkungannya berkurang karena pengaruh densitas dan kekakuan bahan. Gambar 9c memberikan profil yang tidak mengalami kelengkungan sama sekali. Selanjutnya dilakukan *tracking* dan simulasi perhitungan modulus Young Grafik hasil simulasi perhitungan ditunjukkan pada Gambar 10. Perhitungan kali ini juga menggunakan persamaan (2) karena terjadi perubahan bentuk geometri.

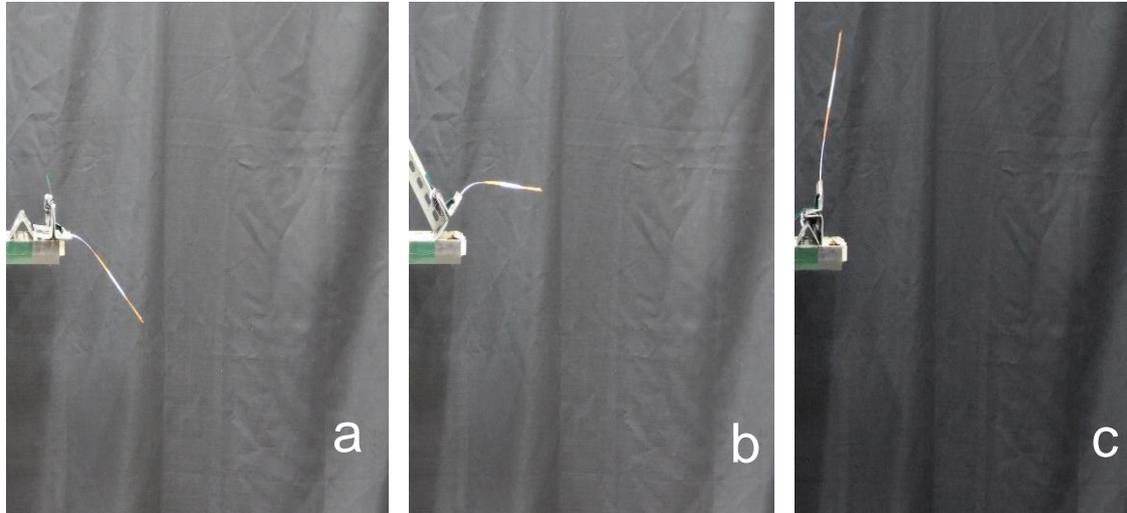


Gambar 10. Grafik bending kertas berbentuk trapesium (dipilox) hasil eksperimen, fitting data polynomial dan simulasi pada sudut tetap: (a) $0^\circ = 0$ radian dan (b) $45^\circ = 0,785$ radian.

Jika dibandingkan dengan sampel kertas trapesium (dipilox) (Gambar 10), tampak bahwa kelengkungan berubah pada setiap sudut. Bahkan pada sudut ujung tetap 90° tidak membentuk kelengkungan sama sekali. Hal ini disebabkan, kertas mengalami peningkatan kekakuan setelah dipilox. Kertas yang dipilox menunjukkan kenaikan nilai modulus Young. Berturut – turut sampel dengan sudut ujung tetap 0° , modulus Young 2,42 GPa menjadi 5, 51 GPa dan sudut 45° , Modulus Young 2,18 GPa menjadi 7,59 GPa. Kenaikan modulus Young ini disebabkan adanya perubahan nilai parameter kertas sebelum dan sesudah dipilox. Kertas yang dipilox mengalami pertambahan ketebalan dan perubahan densitas. Sedangkan untuk sudut ujung tetap 90° , pada sampel yang dipilox tidak lagi mengalami kelengkungan, sehingga kami tidak dapat melakukan perhitungan modulus Young menggunakan metode ini.

Kertas Persegi Panjang (dipilox berselingan)

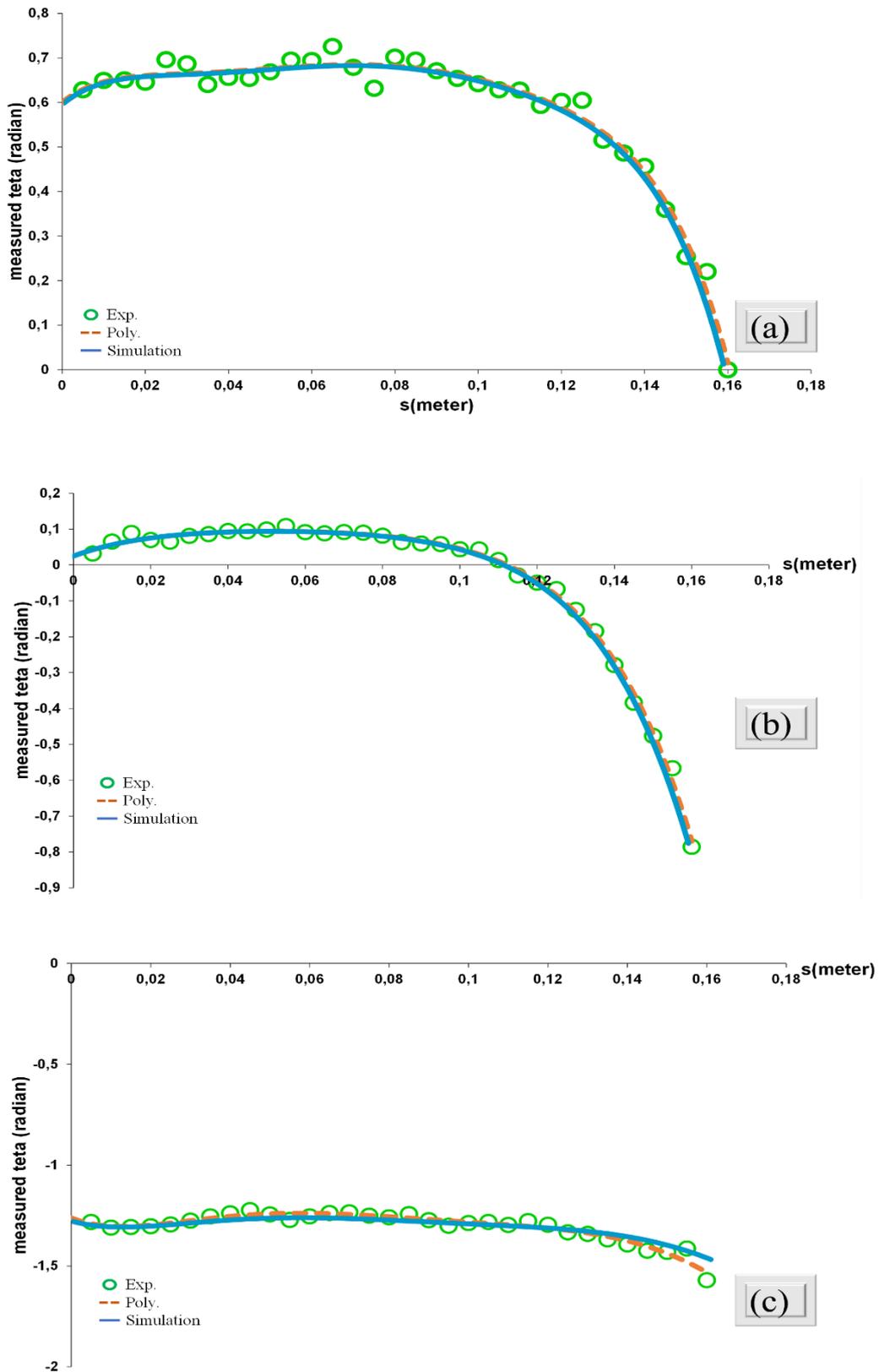
Panjang = 0,16 m
Lebar = 0,05 m
Massa = 0,0011 kg
Tebal = 0,00013 m



Tebal = 0,00013 m

Gambar 11. Hasil eksperimen bending kertas berbentuk persegi panjang (dipilox berselingan) 0,16 m menggunakan sudut tetap (a) $0^{\circ} = 0$ rad, (b) $45^{\circ} = 0,785$ rad, (c) $90^{\circ} = 1,571$ rad

Gambar 11 menunjukkan hasil eksperimen pada 3 buah sampel yang berbentuk persegi panjang yang dipilox berselingan. Sudut divariasikan sehingga memberikan profil lengkungan yang berbeda-beda. Tampak bahwa kelengkungannya berkurang karena pengaruh densitas dan kekakuan bahan. Gambar 11c memberikan profil yang mengalami kelengkungan kecil. Selanjutnya dilakukan *tracking* dan simulasi perhitungan modulus Young. Grafik hasil simulasi perhitungan ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik bending kertas berbentuk persegi panjang (dipilox berselingan) hasil eksperimen, fitting data polynomial dan simulasi pada sudut tetap $0^\circ = 0$ radian, (b) $45^\circ = 0,785$ radian dan $90^\circ = 1,571$ radian.

Gambar 12 menunjukkan bahwa sampel kertas yang dipilox berselingan masih membentuk kelengkungan atau bending ketika membentuk sudut 90° . Berbeda dengan sampel sebelumnya yang dipilox keseluruhan sepanjang sampel baik yang berbentuk persegi panjang maupun yang berbentuk trapesium. Segmen yang dipilox memberikan nilai modulus Young yang lebih besar hingga puluhan GPa untuk sampel dengan sudut ujung tetap 0° dan 45° . Adanya perbedaan nilai yang jauh dari hasil pengukuran uji tarik, disebabkan oleh kurang ketelitian dalam perhitungan. Oleh sebab itu, masih perlu evaluasi lebih lanjut. Hasil uji tarik untuk sampel kertas yang polos adalah 5, 163 GPa dan kertas yang dipilox sebesar 8,716 GPa [9].

KESIMPULAN

Telah berhasil dilakukan pengukuran elastisitas bahan yang berbentuk lembaran dengan menggunakan prinsip *Cantilever Beam*. Hasil pengukuran menunjukkan nilai yang mendekati nilai dari hasil pengukuran langsung menggunakan *Tensile Strength*. Metode eksperimen dan perhitungan berhasil dilakukan dengan menvariasikan bentuk geometri dan densitas sampel. Berdasarkan hasil yang diperoleh memberikan informasi bahwa metode eksperimen ini bisa dilakukan sebagai alternatif pengukuran elastisitas bahan yang dapat dilakukan di rumah saja. Potensi pengembangan lebih lanjut memungkinkan metode pengukuran berbasis android dengan mengembangkan programnya sehingga dapat dilakukan pengukuran cukup dengan memotret sampel tersebut tanpa harus dilakukan perhitungan lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Munir, R., Rahmayanti, H. D., Amalia, N., Viridi, S., & Abdullah, M. (2019). Penggunaan Image Tracking untuk Pengukuran Sifat Mekanik pada Kertas. *Jurnal Fisika*, 9(1), 21-27.
- [2] C. Allaire, J. Allaire, and A. Carbonneau, in *Light Met.* (John Wiley & Sons, Hoboken, 2004), pp. 629–636.
- [3] ASTM E111, Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus (ASTM International, West Conshohocken, 2017)
- [4] 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
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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
- [8] D. O. Margaretta, N. Amalia, F. D. Utami, S. Viridi, and M. Abdullah, *Second Order Phase Transition and Universality of Self-Buckled Slender Elastic Beams* (2018)
- [9] Munir, R., Rahmayanti, H. D., Amalia, N., Utami, F. D., Viridi, S., & Abdullah, M. (2021). Investigation of mechanical properties for Non-Homogeneous by image tracking method. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3415-3419.
- [10] Amalia, N., Yuliza, E., Margaretta, D. O., Utami, F. D., Surtiyeni, N., Viridi, S., & 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