

## RANCANG BANGUN ALAT UKUR MODULUS ELASTISITAS MATERIAL DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR *FORCE GAUGE* DAN *VIDEO TRACKER*

**Rahmi Putri Wirman<sup>1\*</sup>, Vandri Ahmad Isnaini<sup>1</sup>, Reni Kartika<sup>1</sup>, dan Shabri Putra Wirman<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Kota Jambi, 36124, Indonesia*

<sup>2</sup>*Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Muhammadiyah Riau, Kota Pekanbaru, 28294, Indonesia*

\*email: rahmi@uinjambi.ac.id

### ABSTRAK

*Telah dilakukan penelitian tentang rancang bangun alat ukur modulus elastisitas material. Modulus elastisitas merupakan parameter fisis atau sifat mekanik dari suatu material untuk acuan klasifikasi material atau penentuan mutu dari material. Alat yang dibuat ini menggunakan sensor force gauge untuk mengukur besar gaya tarik dan kamera sebagai pengamat perubahan panjang sampel (regangan) terhadap gaya tarik yang diberikan. Pola regangan terhadap gaya tarik ini dianalisis menggunakan Software Tracker di komputer. Kemudian hasil analisis dan variabel terukur dihitung dengan hasil akhir berupa nilai modulus elastisitas material. Sampel yang digunakan pada eksperimen adalah lembaran silicon yang dibuat dengan 10 variasi ukuran. Pada eksperimen, alat bekerja dengan baik dan dapat mengukur nilai gaya tarik, perubahan panjang sampel, grafik komparasi regangan terhadap waktu atau perubahan gaya, dan nilai modulus elastisitas material. Rata-rata nilai modulus elastisitas yang didapat oleh alat dalam mengukur sampel ini adalah 57669,73 Kg/m<sup>2</sup>. Persen deviasi data pengukuran pada eksperimen ini sebesar 5,08 %. Sebagai acuan ketidakpastian pengukuran, sampel juga diukur dengan alat universal testing machine yang telah terkalibrasi, nilai modulus elastisitas sampel bernilai 60822,56 Kg/m<sup>2</sup>. Sehingga persen ketidakpastian pada alat yang dirancang ini adalah sebesar 5,21%. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa alat ini bekerja dengan baik serta memiliki akurasi yang cukup baik.*

*Kata Kunci: Force Gauge; Gaya Tarik; Modulus Elastisitas; Regangan; Tracker*

### ABSTRACT

**[Title: Design of Measuring Tool for Elastic Modulus of the materials Using Force Gauge Sensor and Video Tracker]** *This research examined the design of the measuring tool for the elastic modulus of the material. The elastic modulus is a physical parameter or mechanical property of a material in which the purpose is to determine the material classification or the quality of the material. This tool used a force gauge sensor to measure the magnitude of the tensile force and a camera as an observer of the change in sample length (strain) to the applied tensile forces by using tracker software on a computer. The result of the analysis was in the form of elastic modulus of the material. The sample used in the experiment was silicon rubber made with ten (10) size variations. The experiment found that the tool worked well and could measure the value of the tensile force, the change in sample length, the comparison of the graph of strain against time or the change in force, and the value of elastic modulus of the material. The average value of the elastic modulus obtained from the tool in measuring this sample was 57669.73 Kg/m<sup>2</sup>. The percentage deviation of the measurement data in this experiment was 5.08%. This sample was also tested with a universal testing machine that has been calibrated to avoid uncertainty in measurement. The value of the elastic modulus was 60822.56 Kg/m<sup>2</sup>. The percentage of uncertainty in this designed tool was 5.21%. The finding showed that this tool worked well and had good accuracy.*

*Keywords: Elastic Modulus; Force Gauge; Strain; Tensile Force; Tracker*

### PENDAHULUAN

Sifat mekanik adalah salah satu parameter fisika dalam identifikasi material. Dalam dunia industri material, penentuan parameter, atau karakteristik merupakan hal yang sangat penting untuk menentukan kualitas atau mutu dari material tersebut. Namun penentuan parameter material tidak mudah diakses oleh masyarakat luas dikarenakan

mahalnya alat instrumen pengukuran serta tidak banyak instansi atau perguruan tinggi yang memiliki instrumen tersebut. Untuk itu perlu dilakukan pengembangan atau rancang bangun instrumen pengukuran parameter material yang murah dan bahan baku pembuatannya mudah didapat di pasaran.

Dalam sebuah instrumen pengukuran diperlukan adanya komponen-komponen sensor

untuk identifikasi fenomena fisis pada material, contohnya pergerakan atau perubahan struktur dari material. Salah satu sensor yang cukup murah digunakan untuk menangkap fenomena itu adalah kamera, kemudian hasil tangkapannya dianalisis menggunakan aplikasi *video tracker* atau aplikasi *image processing*. *Image processing* sudah banyak digunakan dalam identifikasi pergerakan suatu objek. Salah satu contoh eksperimen sebuah *Unmanned Ariel vehicle* (UAV) yang dapat mendeteksi objek manusia dan kecepatan kendaraan dengan proses *image processing* secara *real time* (Jalled & Voronkov, 2016). Kemudian penelitian tentang identifikasi dari regangan dan kerusakan suatu material ketika diberikan gaya tarik melalui analisis 3D gambar digital (Wu, Coret, & Combescure, 2011). Selanjutnya penelitian tentang telah akurasi pada pengukuran regangan pada sampel *non-contact* dengan metode *subset-based* korelasi gambar digital (Shifani & Premi, 2021). Dari berbagai penelitian, *image processing* merupakan alat deteksi yang akurat dan murah dalam mengukur pergerakan suatu benda atau material, terutama menggunakan aplikasi yang sifatnya *open source*.

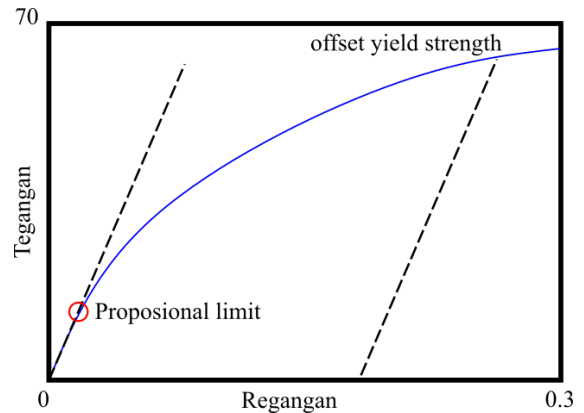
Sifat mekanik material adalah perubahan bentuk dari suatu benda apabila mendapatkan gaya dari luar, sifat ini termasuk pada bagian parameter fisika bahan. Salah satu rumusan sederhana sifat mekanik suatu bahan adalah eksperimen Hooke, yang menggambarkan persamaan tentang deformasi bahan elastik ketika diberi gaya. Hooke memperlihatkan adanya suatu keadaan mekanik bahan yang diberi gaya dan jika bentuknya tidak kembali ke bentuk semula disebut dengan titik elastis bahan. Apabila gaya pada persamaan Hooke adalah sebuah massa ( $m$ ) yang bergerak dengan percepatan ( $a$ ), maka nilai  $F$  adalah  $m.a$  (Halliday, David; Resnick, 1985).

Modulus elastisitas dan plastisitas suatu material termasuk pada sifat mekanik dari bahan. Elastisitas adalah kemampuan material untuk kembali lagi ke bentuk semula setelah diberikan beban dan plastisitas adalah perubahan bentuk (deformasi) dari material akibat adanya beban (Lubliner, 2006). Prinsip dasar dari sifat mekanik ini adalah adanya resistansi dari bahan terhadap gaya yang diberikan. Sesuai dengan Hukum Newton yang ke-tiga, jika ada aksi diberikan maka akan ada reaksi dari benda tersebut (Raymond, Serway; Jewett, 2014).

Faktor penentu dari modulus elastisitas adalah tegangan dan regangan. Tegangan (*stress*) adalah gaya yang diberikan pada bahan per satuan luas bahan tersebut. Tegangan akibat gaya yang diberikan pada bahan atau material sangat bergantung pada luasan (ukuran) dari benda tersebut. Persamaan matematis dari tegangan ( ) adalah:

$$= \frac{F}{A} \tag{1}$$

dimana  $F$  adalah gaya yang diberikan dengan satuan Newton dan  $A$  adalah luasan bahan dengan satuan  $m^2$ .



**Gambar 1.** Hubungan antara tegangan dan regangan pada sampel tembaga polycrystalline (Roylance, 2008).

Sedangkan regangan (*strain*) adalah perbandingan antara pertambahan nilai dari perubahan bentuk/ukuran bahan sewaktu diberi gaya terhadap bentuk/ukuran awalnya. Secara matematis dapat dibuat persamaan regangan ( $s$ ) sebagai berikut:

$$s = \frac{l}{l_0} \tag{2}$$

dimana  $l$  adalah pertambahan ukuran dari keadaan semula dan  $l_0$  adalah ukuran mula-mula, masing-masing dengan satuan  $m$  (meter). Jadi, modulus elastisitas ( $E$ ) adalah nilai perbandingan antara tegangan dengan regangan, yang digambarkan pada persamaan di bawah ini.

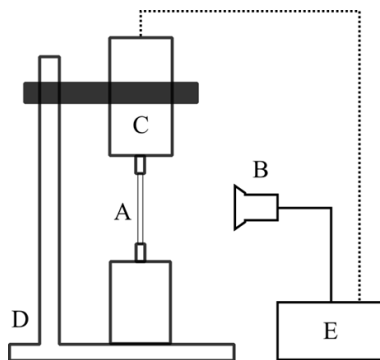
$$E = \frac{F/A}{l/l_0} = \frac{F.l_0}{A.l} \tag{3}$$

Satuan modulus elastisitas adalah  $N/m^2$  atau Pascal. Modulus elastisitas akan bersifat konstan apabila gaya yang diberikan tidak melampaui sifat elastisitasnya (Ambrose, 2002). Contoh dari hasil eksperimen modulus elastisitas dari karet alam adalah berkisar dari 0,0015-0,0025 Gpa. Sedangkan untuk *Butyl Rubber* adalah berkisar antara 0,001-0,002 Gpa (*Materials Data Book*, 2003). Terdapat beberapa eksperimen dalam pengukuran modulus elastisitas suatu material, diantaranya adalah uji tekanan (*tensile test*), tes resonansi akustik elektromagnet, tes echo

pulsa ultrasonik, dan *Density Functional Theory* (DFT) (Rabiei et al., 2020).

**METODE**

Rancangan dasar dari alat ukur modulus elastisitas material adalah menggunakan prinsip alat ukur *Universal Testing Machine* (UTM). Prinsip kerja alat ini adalah memberikan gaya pada sampel dan mengukur perubahan fisiknya. Untuk modulus elastisitas material yang diukur adalah nilai regangan (*elongation*) suatu bahan sampel saat diberikan gaya tarik. Perubahan regangan dari sampel tersebut direkam oleh kamera sebagai penangkap gerak dan dianalisis menggunakan aplikasi *video tracker*, yaitu aplikasi *Tracker* versi 6.0.1 yang dijalankan pada komputer dengan *processor* Intel i5, *operation system* Windows 10, dan *memory* RAM 8 Gb. Aplikasi *Tracker* adalah aplikasi yang bersifat *open source*, sehingga lisensinya gratis dalam pemakaian maupun pengembangan. Sedangkan gaya tarik yang diberikan diukur dengan sensor *force gauge*. Pembuatan alat ukur ini menggunakan komponen-komponen yang murah dan mudah didapatkan di pasaran atau melalui situs belanja online (*e-commerce*). Rancangan pengembangan alat ukur modulus elastisitas bahan dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2.** Rancangan alat ukur modulus elastisitas material (A. Sampel, B. Kamera, C. Sensor *force gauge*, D. Stand, dan E. Komputer).

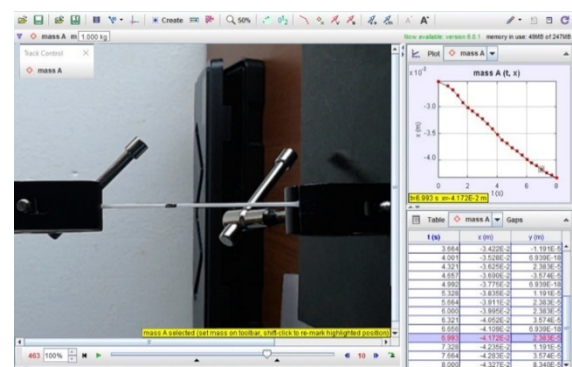
Spesifikasi komponen yang digunakan adalah sebagai berikut. Sensor *force gauge*, sensor ini adalah sebuah detektor yang sangat sensitif terhadap perubahan gaya, baik gaya tekan maupun tarik. *Force gauge* yang digunakan memiliki pengukuran tarik atau tekan maksimum sebesar 5 Kg dengan resolusi bacaan 0,001 Kg. Kemudian kamera yang menjadi sensor mengamati perubahan regangan pada sampel. Sensor kamera yang digunakan adalah jenis kamera autofokus dengan tingkat resolusi 3 Megapixel, serta bisa menangkap format video dalam format *full high definition* 1080p. Spesifikasi kamera yang digunakan

harus memenuhi tingkat teknologi yang baik sehingga ketepatan pembacaan kamera dalam menangkap perubahan fisis sampel uji pada saat terjadi regangan. Jangka sorong digital juga diperlukan dalam mengukur lebar (luasan) sampel yang akan diukur. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah lembaran *silicon* yang merupakan polimer sintetik dengan memiliki struktur lentur. Pada penelitian ini dilakukan uji coba untuk sampel silikon dengan 10 variasi ukuran (Sampel 1 - Sampel 10) dengan masing-masing diukur sebanyak 20 kali perulangan. Sampel lembaran *silicon* yang digunakan berjenis kelas industri dan medis, *postcured* FDA, memiliki kekuatan tarik 7 Mpa, kekerasan 40 *shore A*, densitas 1.25 - 1.5 g/cm<sup>3</sup>, dan suhu kerja stabil pada -60 – 260 °C.



**Gambar 3.** Sampel lembaran *silicon* yang digunakan pada alat ukur modulus elastisitas.

Pada proses pengujian alat, sampel lembaran *silicon* dipasang pada alat uji tarik dengan cara dijepit pada pencengkram (*clamp*) dan ditarik pada ujung-ujung dengan arah vertikal dengan perlahan. Setiap penambahan panjang yang terjadi pada sampel terekam oleh sensor kamera. Kemudian hasil tangkapan kamera dianalisis menggunakan aplikasi *Tracker* di komputer, sehingga didapatkan perubahan regangan atau pertambahan panjang sampel terhadap waktu berjalan dan nilai gaya tarik yang diberikan.

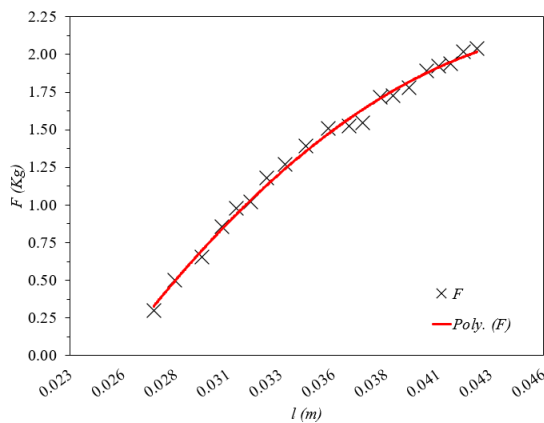


**Gambar 4.** Proses analisis sampel menggunakan aplikasi *Tracker*.

Data pengukuran dari *force gauge* dengan variabel  $F$  kemudian nilai pertambahan panjang yang diukur menggunakan *Tracker* dengan variabel  $l$  dan variabel  $A$  yang merupakan nilai luasan dari sampel digunakan sebagai perhitungan nilai modulus elastisitas sampel.

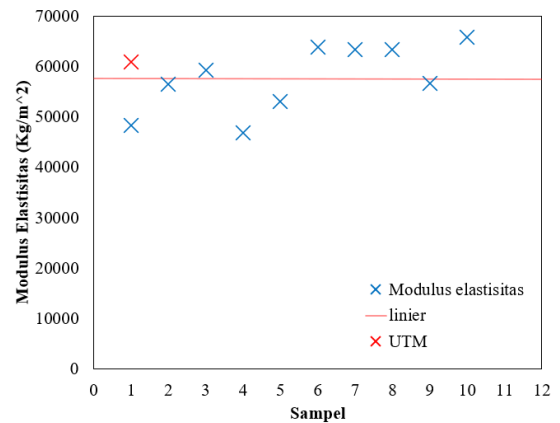
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Setelah dilakukan uji coba alat dan perbaikan-perbaikan minor untuk mendapatkan hasil yang bagus, maka dapat diambil sebuah gambaran bagaimana karakteristik dari alat ini. Alat modulus elastisitas material ini bekerja dengan baik, sensor *force gauge* dan kamera sebagai pendeteksi regangan bekerja dengan baik. Namun pada awal uji coba terdapat sedikit masalah yang membuat pengujian dilakukan berulang-ulang, yaitu adanya pergeseran sampel pada saat mencapai gaya tarik yang kuat. Ini disebabkan oleh sampel *silicon sheet* yang permukaannya licin, sehingga permukaan capit (*clamp*) harus dilapisi lapisan anti slip. Jika dilihat dari salah satu variasi sampel, yaitu sampel 1 dengan spesifikasi ukuran panjang awal ( $l_0$ ) sebesar 0,025 m, lebar sampel ( $d$ ) sebesar 0.004 m, dan luasan area sampel ( $A$ ) sebesar 0,00011 m<sup>2</sup>. Dari hasil pengukuran uji tarik sampel maka didapatkan data perubahan gaya yang ditimbulkan oleh penarikan sampel pada panjang tertentu.



**Gambar 5.** Grafik perubahan gaya terhadap perubahan panjang Sampel 1.

Secara total, terdapat 200 pengukuran sampel yang dihasilkan oleh alat ini dan digunakan sebagai data analisis penelitian. Data ini tersebar pada pengukuran modulus elastisitas sampel dengan 10 variasi ukuran. Pengukuran Sampel 2 – Sampel 10 juga memberikan hasil data perubahan panjang material terhadap gaya tarik dengan pola yang sama dengan Sampel 1 (Grafik pada Gambar 5).



**Gambar 6.** Hasil rata-rata modulus elastisitas di tiap 10 variasi sampel.

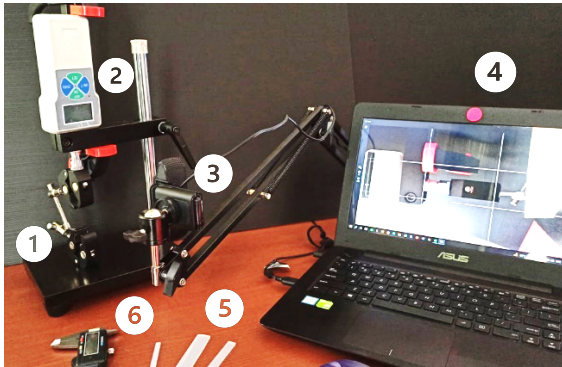
Rata-rata modulus elastisitas dari total pengukuran ini bernilai 57669,73 Kg/m<sup>2</sup>, dengan hasil modulus elastisitas di tiap sampel dapat dilihat pada grafik di atas. Sedangkan rata-rata persen deviasi terhadap rata-rata nilai pengukuran adalah sebesar 5,08 %, ini menunjukkan bahwa alat ukur modulus elastisitas yang dikembangkan ini bekerja dengan baik dan memiliki akurasi yang cukup bagus, dengan nilai penyimpangan di bawah 10 %. Sebagai acuan ketidakpastian pengukuran, sampel juga diukur dengan alat *universal testing machine* yang telah terkalibrasi, nilai modulus elastisitas sampel bernilai 60822.56 Kg/m<sup>2</sup>. Sehingga persen ketidakpastian pada alat yang dirancang ini adalah sebesar 5.21%. Dari Gambar 6 memperlihatkan bahwa untuk mendapatkan data yang akurat melalui alat ini diperlukan pengukuran yang berulang sehingga rata-ratanya mendekati nilai yang bagus.

**Tabel 1.** Persen deviasi data pengukuran di tiap 10 variasi sampel.

Sampel	% deviasi
1	3,08
2	5,05
3	7,48
4	4,75
5	5,60
6	8,31
7	4,57
8	3,36
9	5,59
10	3,06

Dari data pengukuran yang diperoleh, penggunaan kamera dan aplikasi *Tracker* untuk analisis regangan memiliki kinerja yang cukup baik dalam menentukan modulus elastisitas suatu bahan. Sensor-sensor yang murah dan mudah didapatkan di pasaran

merupakan keunggulan dari alat yang dikembangkan ini sehingga universitas atau lembaga penelitian kecil bisa memilikinya serta juga menjadi alat alternatif untuk menghindari tingginya biaya pengukuran di pihak ketiga. Sebagai catatan, alat *universal testing machine* merk terkenal, contoh Merk Utest BC 100 yang mencapai harga di atas 300 juta Rupiah. Serta biaya jasa pengukuran modulus elastisitas material yang memiliki harga tinggi per sampel, yaitu di atas 500 ribu Rupiah di lembaga-lembaga penelitian besar di Indonesia.



**Gambar 7.** Hasil rancang bangun alat modulus elastisitas material.

Produk hasil alat modulus elastisitas material dapat dilihat pada Gambar 7. Sampel ditempatkan pada *clamp* (1) dan diberikan gaya tarik yang diukur menggunakan *force gauge* (2), kamera (3) digunakan sebagai pengamat perubahan panjang atau regangan sampel yang kemudian dianalisis menggunakan aplikasi *Tracker* di komputer (4). Nilai luasan sampel (5) diukur menggunakan jangka sorong digital (6) dan untuk mendapatkan nilai luasan sampel yang lebih akurat dapat digunakan aplikasi *image analysis* seperti aplikasi *ImageJ*.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penentuan sifat mekanik suatu material diperlukan sebuah instrumen dan analisis yang baik serta akurat. Metode *video tracking* merupakan sebuah cara yang mudah dan murah untuk dilakukan. Dari hasil percobaan, alat modulus elastisitas rancangan ini bekerja dengan baik dan memberikan akurasi cukup bagus. *Force gauge* sebagai sensor pengukur gaya tarik serta kamera sebagai sensor pengamat dari regangan sampel dan dianalisis menggunakan software *Tracker* memberikan analisis yang cukup detail serta dapat menggambarkan karakteristik elastisitas material. Sehingga rancang bangun alat modulus elastisitas material ini dapat menjadi solusi instrumen

pengukuran yang murah serta bisa diadaptasi oleh berbagai peneliti di bidang material.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian UIN Sulthan Thaha Syaifuddin Jambi yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini. Penelitian terselenggara atas bantuan Program Dana atau Hibah Penelitian Kementerian Agama Tahun 2021.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ambrose, J. (2002). *Simplified Mechanics and Strength of Materials* (6th ed.). Pennsylvania: John Wiley & Sons, Inc.
- Halliday, David; Resnick, R. (1985). *Physics* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Jalled, F., & Voronkov, I. (2016). Object Detection using Image Processing, 1–6. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1611.07791>
- Lubliner, J. (2006). *Plasticity Theory*. Berkeley: Pearson Education, Inc.
- Materials Data Book*. (2003). Cambridge University Engineering Department. Retrieved from <http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/cu-eddatabooks/materials.pdf>
- Rabiei, M., Palevicius, A., Dashti, A., Nasiri, S., Monshi, A., Vilkauskas, A., & Janusas, G. (2020). Measurement modulus of elasticity related to the atomic density of planes in unit cell of crystal lattices. *Materials*, 13(19), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ma13194380>
- Raymond, Serway; Jewett, J. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (9th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Roylance, D. (2008). Mechanical Properties of Materials. In *MIT book course*. MIT. Retrieved from <http://web.mit.edu/course/3/3.225/book.pdf>
- Shifani, S. A., & Premi, M. S. G. (2021). Accurate Measurement of Strain in Noncontact Surface Deformation Using Subset-Based Digital Image Correlation, 2021.
- Wu, T., Coret, M., & Combescure, A. (2011). Strain localisation and damage measurement by full 3D digital image correlation: Application to 15-5PH stainless steel. *Strain*, 47(1), 49–61. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1305.2008.00600.x>