

Perhitungan Diameter dan Modulus Elastisitas Rambut dengan Metode Difraksi Berbasis Citra Digital

Yuri Yogaswara^{1,a)}, Iman Nurzaman^{2,b)}, Akfiny Hasdi Aimon^{3,c)} dan Neny Kurniasih^{4,d)}

^{1,2}Departemen Fisika,
Program Studi Magister Pengajaran Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

³Laboratorium Fisika Material Elektronik,
Kelompok Keilmuan Fisika Fisika Material Elektronik,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

⁴Laboratorium Fisika Bumi,
Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} aiman.378@gmail.com (corresponding author)

^{b)} yogaswarayuri@students.itb.ac.id

^{c)} akfiny@fi.itb.ac.id

^{d)} neny@fi.itb.ac.id

Abstrak

Rambut merupakan biomaterial berserabut yang tumbuh dari folikel dan ditemukan dalam dermis. Biomaterial penting pada rambut terdiri dari protein terutama keratin. Salah satu hal yang memengaruhi sifat mekanik rambut adalah diameter serat rambut tersebut. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan diameter dan modulus elastisitas dari rambut manusia dengan metode difraksi berbasis citra digital. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga sampel yang dikategorikan berdasar usia muda (17 tahun), usia sedang (30 tahun), dan usia tua (76 tahun). Diameter sampel rambut yang dihitung berdasarkan data percobaan difraksi berbasis citra digital diperoleh dalam orde 10^{-5} meter (puluhan mikron), sedangkan modulus elastisitas sampel rambut berada pada orde 10^8 hingga 10^9 N/m². Berdasarkan ketiga sampel yang digunakan diameter terkecil dimiliki oleh rambut usia muda dan modulus elastisitas rambut terbesar juga dimiliki oleh rambut usia muda. Semakin besar diameter rambut maka semakin kecil modulus elastisitasnya.

Kata-kata kunci: Difraksi Cahaya, Diameter Rambut, Modulus Elastisitas Rambut

PENDAHULUAN

Rambut merupakan biomaterial berserabut yang tumbuh dari folikel dan di temukan dalam dermis. Biomaterial penting pada rambut terdiri dari protein terutama keratin. Salah satu hal yang mempengaruhi sifat mekanik rambut adalah diameter serat rambut tersebut. Manusia memiliki diameter rambut yang bervariasi dan dapat diklasifikasi berdasarkan ukuran yang tipis, sedang, dan tebal. Penelitian biomekanika telah banyak menarik perhatian banyak peneliti [1], [2], [3].

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan diameter dan modulus elastisitas dari rambut manusia dengan metode difraksi berbasis citra digital. Difraksi merupakan pembelokan arah sinar ketika melalui celah atau penghalang sempit. Metode difraksi menggunakan pengukuran tidak langsung dengan memanfaatkan berkas

cahaya. Jika gelombang cahaya tunggal dijatuhkan pada permukaan yang halus seperti pada rambut, maka gelombang akan mengalami difraksi oleh efek permukaan rambut pada samping kiri dan kanannya. Cahaya akan mengalami lenturan yang oleh Huygens dianggap sebagai kehadiran dua sumber baru pada sisi samping kiri dan kanan rambut sehingga superposisi gelombang yang berasal dari kedua sisi dapat menghasilkan pola terang gelap pada layar. Pola gelap menunjukkan superposisi gelombang yang destruktif sedangkan pola terang menunjukkan superposisi gelombang yang bersifat konstruktif.

Diameter rambut yang dikaji Hay dan Wal memiliki rentang $5,62 - 7,65 \times 10^{-5}$ m [2]. Rambut sehat yang dikaji Kaplan memiliki modulus elastisitas sekitar 3,0 – 4,5 GPa [4]. Sifat mekanika rambut ini dapat berguna untuk memprediksi jumlah kerontokan rambut (*hair loss*) pada manusia. Lebih lanjutnya hal ini berfungsi untuk diagnosis penyakit yang berhubungan dengan gen, dengan mengingat bahwa rambut adalah salah satu pembawa gen (*gene carrier*) yang biasanya digunakan untuk mengetahui kode genetik manusia (DNA). Lebih jauh lagi informasi mekanika rambut ini dapat dipergunakan untuk meneliti beberapa penyakit seperti kanker payudara [5] dan kebotakan atau *androgenetic alopecia* [6].

PENGUKURAN DIAMETER DAN MODULUS ELASTISITAS RAMBUT

Pengukuran diameter rambut dengan difraksi cahaya termasuk ke dalam difraksi celah tunggal didasarkan pada pola difraksi gelap dan terang yang terbentuk pada layar. Dengan mengukur jarak dua pola gelap berdekatan Δy , jarak celah ke layar L , dan panjang gelombang λ sinar laser yang digunakan diketahui maka lebar dari celah d yang mempersentasikan diameter dari rambut dapat ditentukan melalui Persamaan (1)

$$\Delta y = \frac{\lambda L}{d}. \quad (1)$$

Pengukuran dilakukan berulang kemudian dirata-rata untuk mendapatkan data diameter rambut yang presisi. Dengan mengetahui diameter rambut, maka dapat dihitung tegangan dan regangan rambut untuk mengetahui elastisitasnya. Untuk menghitung tegangan σ pada rambut dapat menggunakan Persamaan (2)

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4m_{beban}g}{\pi d^2}, \quad (2)$$

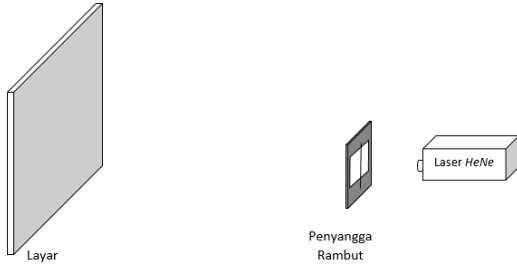
dengan F adalah gaya tegangan yang sebanding dengan massa beban dikalikan percepatan gravitasi g dan A adalah luas permukaan rambut yang berbentuk lingkaran. Untuk menghitung regangan ε yaitu dengan mengukur panjang awal l_0 dan pertambahan panjang Δl yang dialami rambut ketika diberikan beban digunakan Persamaan (3)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (3)$$

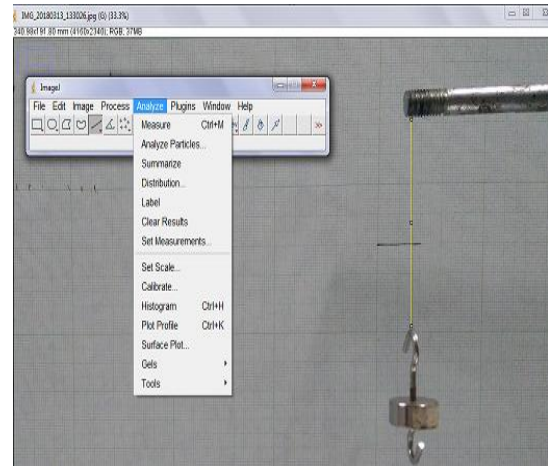
Dengan demikian, besar modulus elastisitas dari rambut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4) yang diperoleh dari gabungan Persamaan (2) dan Persamaan (3)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{4 m_{beban} g l_0}{\pi d^2 \Delta l}. \quad (4)$$

Pengukuran diameter rambut dilakukan dengan menggantungkan beban pada salah satu ujung rambut secara vertikal dan ditempatkan di depan laser seperti pada Gambar 1, kemudian diambil citra dari pola difraksi yang terbentuk dengan menggunakan kamera dan dianalisis melalui perangkat lunak *ImageJ*. Kemudian perhitungan elastisitas dilakukan dengan percobaan menggantungkan beban pada salah satu ujung rambut seperti Gambar 2 kemudian dihitung regangan dan tegangannya. Dalam pengukuran panjang awal dan pertambahan panjang juga dilakukan pengukuran panjang melalui analisis citra digital menggunakan perangkat lunak *ImageJ*.



Gambar 1. Proses Pengukuran Diameter Rambut



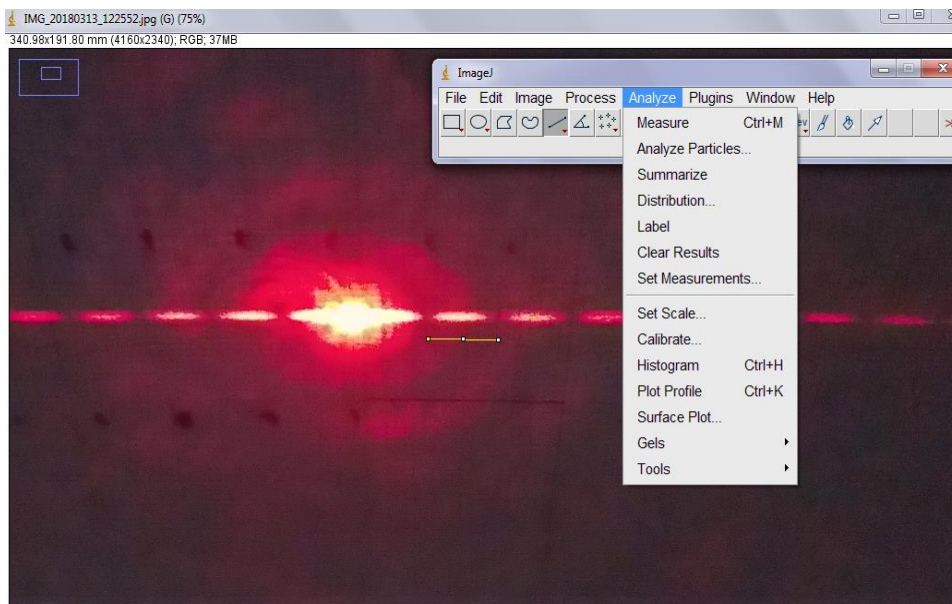
Gambar 2. Proses Pengukuran regangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rambut yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga kategori sampel berdasar usia pemilik rambutnya, yaitu usia muda (17 tahun), usia sedang (30 tahun), dan usia tua (76 tahun). Masing-masing diberi nama secara berurutan sampel A, B, dan C. Percobaan difraksi untuk mengukur diameter rambut tersebut dilakukan terlebih dahulu menggunakan laser *HeNe* dengan panjang gelombang 632,8 nm dengan kondisi laboratorium seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi Laboratorium

	Awal	Akhir
Temperatur	$(24,80 \pm 0,05)^{\circ}\text{C}$	$(24,80 \pm 0,05)^{\circ}\text{C}$
Kelembaban	$(63,00 \pm 0,50)\%$	$(63,00 \pm 0,50)\%$
Tekanan	$(600,00 \pm 2,50) \times 10^2 \text{ Pa}$	$(600,00 \pm 2,50) \times 10^2 \text{ Pa}$



Gambar 3. Pengolahan citra hasil difraksi

Gambar 3 menunjukkan citra pola difraksi yang diperoleh diambil menggunakan kamera digital, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *ImageJ* dengan tahapan pengaturan skala citra yang disesuaikan dengan

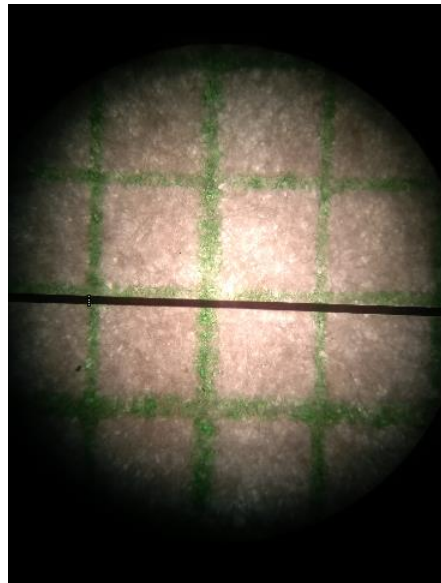
skala aslinya; pengukuran jarak pola gelap dapat lebih akurat dilakukan dengan memperbesar citra terlebih dahulu.

Tabel 2 Hasil Percobaan Difraksi

Sampel rambut	Pengukuran ke-	Jarak layar L (m)	Jarak antar pola gelap Δy (mm)	Diameter d (m)	Diameter rata-rata (10^{-5} m)
A	1	0,8	6,970	$7,263 \times 10^{-5}$	$8,07 \pm 0,28$
	2	0,8	6,066	$8,346 \times 10^{-5}$	
	3	0,8	6,291	$8,047 \times 10^{-5}$	
	4	0,8	5,842	$8,666 \times 10^{-5}$	
	5	0,8	6,292	$8,046 \times 10^{-5}$	
B	1	1,0	6,762	$9,358 \times 10^{-5}$	$8,84 \pm 0,35$
	2	1,0	6,754	$9,369 \times 10^{-5}$	
	3	1,0	7,025	$9,008 \times 10^{-5}$	
	4	1,0	7,297	$8,672 \times 10^{-5}$	
	5	1,0	8,108	$7,805 \times 10^{-5}$	
C	1	0,8	6,153	$8,228 \times 10^{-5}$	$8,36 \pm 0,24$
	2	0,8	5,936	$8,528 \times 10^{-5}$	
	3	0,8	5,933	$8,533 \times 10^{-5}$	
	4	0,8	6,593	$7,678 \times 10^{-5}$	
	5	0,8	5,714	$8,860 \times 10^{-5}$	

Tabel 2 menunjukkan diameter paling kecil dimiliki oleh sampel A (usia muda). Diameter rambut ditentukan oleh ukuran medulla atau sumsum rambut atau inti rambut, yaitu lapisan terdalam dari rambut[7]. Medula dibentuk oleh zat tanduk yang berwujud seperti anyaman dengan rongga-rongga berisikan udara. Pada usia muda, kurangnya medulla mengakibatkan diameter rambut yang kecil.

Sebagai verifikasi, pengukuran orde diameter rambut dilakukan dengan meletakkan sampel sehelai rambut sampel A di atas kertas *milimeter block*. Sampel tersebut kemudian dilihat menggunakan mikroskop dan diambil citranya seperti ditunjukkan Gambar 4. Citra tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *ImageJ* dengan menggunakan garis skala *milimeter block* sebagai satuan pembanding. Hasilnya menunjukkan bahwa sampel tersebut memiliki diameter $7,34 \times 10^{-5}$ m, jika dibandingkan pada Tabel 2 sampel rambut A diameter rata-rata $8,07 \times 10^{-5}$ m dapat diperoleh informasi kesalahan relatifnya 9,94%. Hal ini menunjukkan bahwa orde diameter rambut hasil pengukuran menggunakan metode difraksi mendekati dengan hasil pengamatan menggunakan mikroskop. Verifikasi hanya dilakukan pada sampel rambut A sebagai rujukan, untuk memverifikasi sampel lainnya dapat dilakukan dengan cara yang sama.



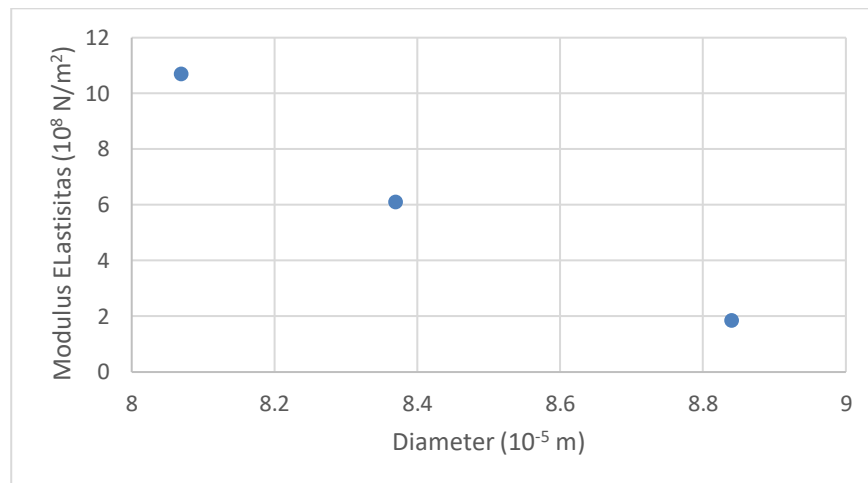
Gambar 4. Pengolahan citra hasil pengamatan menggunakan mikroskop

Pada percobaan Modulus Elastisitas perhitungan regangan dilakukan dengan menggantungkan beban bermassa 20,4 gram dengan tiap kasus pengukuran untuk menentukan gaya beratnya, digunakan nilai percepatan gravitasi 9,76 m/s².

Tabel 3 Hasil percobaan Modulus Elastisitas

Sampel rambut ke-	Pengukuran ke-	Panjang awal lo(mm)	Panjang akhir l(mm)	Modulus Elastisitas E (N/m ²)	Modulus Elastisitas Rata-rata \bar{E} (10 ⁸ N/m ² = 10 ⁻¹ GPa)
A	1	67,542	70,657	1,043×10 ⁹	10,66 ± 0,67
	2	67,377	69,346	1,246×10 ⁹	
	3	66,148	68,854	9,575×10 ⁸	
	4	66,393	68,856	9,105×10 ⁸	
	5	66,149	68,361	1,172×10 ⁹	
B	1	150,254	176,928	1,631×10 ⁸	1,86 ± 0,15
	2	151,245	177,415	1,670×10 ⁸	
	3	149,955	177,457	1,704×10 ⁸	
	4	150,284	176,507	1,933×10 ⁸	
	5	150,277	176,494	2,387×10 ⁸	
C	1	92,872	97,650	7,283×10 ⁸	6,10 ± 0,43
	2	92,255	97,943	5,656×10 ⁸	
	3	91,841	97,635	5,522×10 ⁸	
	4	91,635	97,329	6,923×10 ⁸	
	5	91,843	97,635	5,124×10 ⁸	

Sifat kekerasan dan elastisitas rambut bergantung pada bahan kimia yang tersusun di dalamnya. Umumnya, rambut usia muda memiliki kadar asam amino sisteina, disulfida, dan lemak yang lebih sedikit dibanding usia dewasa [8]. Namun hal ini tidak tampak pada Tabel 3. Rambut sampel usia muda justru memiliki modulus elastisitas yang paling besar. Hal ini dapat terjadi karena adanya kemungkinan penurunan zat-zat pembangun rambut pada rambut usia dewasa, seperti lemak lipid ceramid dan protein keratin atau juga kerusakan kimiawi seperti pada sel keratinosit [9]. Selain itu, sifat mekanika rambut juga berhubungan dengan diameternya [10].



Gambar 5. Hubungan Diameter dengan Modulus Elastisitas berdasar sampel yang dikaji

Sifat elastis rambut dipengaruhi secara dominan oleh kutikula [11]. Gambar 5 menunjukkan bahwa rambut dengan diameter besar memiliki modulus elastisitas yang kecil, dan sebaliknya. Ini berarti rambut usia muda dengan medulla yang kecil, tetap dapat memiliki kekuatan untuk menahan gangguan berkat ditopang struktur penyusun lainnya pada rambut, yaitu kutikula.

KESIMPULAN

Diameter sampel rambut yang dihitung berdasarkan data percobaan difraksi berbasis citra digital diperoleh dalam orde 10^{-5} meter (puluhan mikron) dan hal ini bersesuaian dengan hasil verifikasi menggunakan mikroskop maupun dibandingkan dengan hasil percobaan Hay dan Wall [2]. Sedangkan modulus elastisitas sampel rambut berada pada orde 10^8 hingga 10^9 N/m² atau 1 GPa. Hasil ini masih lebih kecil bila dibandingkan dengan modulus elastisitas rambut menurut Kaplan yaitu sekitar 3,0 hingga 4,5 GPa [4]. Bila dibandingkan dengan bahan lain, modulus elastisitas rambut ini masih jauh lebih kecil lagi daripada modulus elastisitas jaring laba-laba yang dapat mencapai sebesar 30 GPa [13] dan modulus elastisitas baja yang mencapai 200 GPa [14]. Berdasarkan ketiga sampel yang digunakan, diameter terkecil dimiliki oleh rambut usia muda dan modulus elastisitas rambut terbesar sama juga dimiliki oleh rambut usia muda. Sampel yang digunakan pada penelitian ini tergolong sedikit, sehingga kesimpulan hubungan antara diameter dan modulus elastisitas belum dapat ditentukan. Namun hasil sementara ini masih bersesuaian dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan usia pemilik rambut dan komposisi kimia pada rambut dan semakin besar diameter rambut maka semakin kecil modulus elastisitasnya [8], [14].

Penelitian ini dilakukan dengan sampel yang dibedakan berdasar rentang usia, akan lebih baik bila penelitian ini dilanjutkan dengan menambah sampel yang divariasikan. Faktor variasi sampel di antaranya jenis kelamin, asupan gizi, dan tingkat kekeritingan mengingat baja pun memiliki karakteristik yang khas bila dicetak dalam bentuk spiral seperti pegas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Neny Kurniasih, M.Sc. dan Dr.rer.nat. Akfny Hasdi Aimon sebagai pembimbing, serta Dr.rer.nat. Akfny Hasdi Aimon selaku penyandang dana dalam kegiatan publikasi ilmiah penelitian ini, juga kepada asisten laboratorium Fisika Gedung BSCA yaitu Chandra Winardi dan Habibi Abdilah yang telah membantu dalam penyediaan alat ukur dan pengambilan data penelitian ini.

REFERENSI

1. Z. Hu dan G. Li. (2009). *Measurement of Young's modulus and Poisson's ratio of Human Hair using Optical techniques*. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Proc. of SPIE Vol. 7522 75222Q-1
2. J. Hay dan C. Wall. (2011). *Mechanical Characterization of Brown and Grey Hair*. Product specifications and descriptions in this document subject to change without notice, Agilent Technologies, Inc. 2011 Printed in USA, 5990-8681EN
3. J. Lee dan H.J. Kwon. (2013). *Measurement of stress–strain behaviour of human hair fibres using optical techniques*. International Journal of Cosmetic Science, halaman 1–6
4. Kaplan, P.D., et al. (2011). *Grey hair: clinical investigation into changes in hair fibres with loss of pigmentation in a photoprotected population*. International Journal of Cosmetic Science 33, 171-182.
5. Briki, F., Busson, B., Salicru, B., Estève, F., & Doucet, J. (1999). *Breast-cancer diagnosis using hair*. Nature, 400(6741), 226. doi: 10.1038/22244
6. Tellez-Segura, R. (2015). *Involvement of Mechanical Stress in Androgenetic Alopecia*. Int. J. Trichology, 7(3), 95–99. doi: 10.4103/0974-7753.167468
7. F.C Yang. (2014). *The Structure of People Hair*. US National Library of Medicine, Volume 112 No. 169 halaman 7-9
8. Bogaty, H. (1969). *Differences between adult and children's hair*. J. Soc. Cosmet. Chem. 20, 159–171
9. Robbins, C.R. (2012). *Chemical Composition of Different Hair Types, in Chemical and Physical Behavior of Human Hair*, 5th edn. Springer, Berlin, Heidelberg.
10. Jeong, K.H., Kim, K.S., Lee, G.J. et al. (2011). *Investigation of aging effects in human hair using atomic force microscopy*. Skin Res. Technol. 17, 63–68.
11. Nikiforidis, G., Balas, C. and Tsambaos, D. (1992). *Mechanical parameters of human hair: possible application in the diagnosis and followup of hair disorders*. Clin. Phys. Physiol. Meas. 13, 281–290
12. W. Tang, S.G. Zhang, J.K. Zhang, S. Chen, H. Zhu and S.R. Ge. (2016). *Ageing effects on the diameter, nanomechanical properties and tactile perception of human hair*. International Journal of Cosmetic Science, 38, 155–163
13. Blackledge, T.A., Swindeman, J.E., and Hayashi, C.A. (2005). *Quasistatic and Continuous Dynamic Characterization of the Mechanical Properties of Silk from the Cobweb of the Black Widow Spider *Latrodectus Hesperus**. The Journal of Experimental Biology 208, 1937-1949.
14. R.A Serwey dan J.W Jewett. (2008). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Ninth Edition*. 20 Channel Center Street, Boston.