

PENGARUH JUMLAH DAN KEMIRINGAN SUDU *MIXER* POROS VERTIKAL (*VERTICAL STIRRED MIXER*) TERHADAP UNJUK KERJA PENCAMPURAN

Untung Suryadhiyanto¹, Ikhwanul Qiram²

¹ Staf Pengajar Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas PGRI Banyuwangi

² Staf Pengajar Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas PGRI Banyuwangi Jl. Ikan Tongkol 22 Banyuwangi 68416

Email: u.suryadhianto@gmail.com

ABSTRACT

Mixing process use to mix liquid, viscous and granular materials. One of common mixing device is vertical stirred mixer which use a tank and a vertical shaft that rotate mixing blades. This research is done to get the effect of blade's number and angle inclination due to mixing performance. Mixing performance is defined as stretching and folding. The research is done by experiment. The blade's number vary as 2, 3 and 4 blades. Blade's inclination is vary as 90°, 80°, 70° and 60°. The blades are rotated 10 rpm. A cylinder with 18 cm diameter and 12 cm height use as mixing tank. White wall paint is use as mixing material. Black wall paint use as tracker. Mixing processes are observed by a camera on top of the mixer. The mixing processes are arranged for 2 mixer shaft rotations. Video data are captured frame by frame and analyzed using image software. The result shows that blade's number and angle inclination have effect due to mixing performance. Blade's number tends to decrease stretching and folding. Blade's angle inclination also tends to decrease stretching and folding.

Keywords: vertical stirred mixer, blade's inclination, stretching, folding

PENDAHULUAN

Proses pencampuran bahan (*mixing*) banyak dilakukan di dunia industri maupun kehidupan sehari-hari. Salah satu peralatan yang banyak digunakan adalah *mixer* poros vertikal (*vertical stirred mixer*). Bahan yang dicampur pada umumnya berbentuk cairan yang relatif kental. Bahan-bahan lain yang diproses adalah proses fermentasi mikroba [1], pasir [2], material obat [3] dan bubuk granular [4]. Proses pencampuran bahan di *mixer* poros vertikal merupakan unit operasi utama yang banyak dilakukan untuk proses produk-produk kimiawi [3, 5, 6], obat-obatan [5, 6], pengolahan cat dan kertas [6], pengolahan makanan dan pengelolaan air [5] serta aktivitas di pertambangan [3, 4]. Proses pencampuran bahan umumnya dilakukan pada kondisi stedi dengan pengaduk dengan putaran konstan dan diposisikan di garis tengah sumbu tangki [6]. Fenomena aliran fluida di tangki *mixer* dipicu dengan sebuah motor penggerak atau lebih yang berputar di dalam fluida. Rotor dapat didesain dalam berbagai bentuk tergantung pada target hasil proses pencampuran. Aliran fluida dapat terjadi dalam bentuk aliran seragam, radial atau aksial. Pencampuran bahan secara industri melibatkan sistem fase tunggal maupun multi fase [5].

Struktur mekanik tangki pengaduk menentukan faktor pemilihan sudu pengaduk, bentuk tangki, dan struktur sirip penghalang (*buffle*). Penelitian peralatan proses pencampuran

bahan untuk kebutuhan rumah tangga dan industri yang difokuskan pada sudu pengaduk dan struktur sirip penghalang telah menghasilkan perkembangan yang pesat pada teknologi pencampuran. Pemilihan tangki, sudu dan sirip serta posisinya di dalam tangki pencampuran dapat meningkatkan unjuk kerja pencampuran bahan tersebut. Penelitian banyak diarahkan pada konfigurasi desain tangki pengaduk yang optimum dengan efisiensi yang baik [7].

Penelitian perbandingan bentuk sudu dilakukan untuk bentuk sudu piringan pejal dan 4 buah sudu impeller. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada angka Reynold 200, variasi 4 sudu menghasilkan peningkatan yang tajam pada kecepatan di dekat sumbu bawah tangki pengaduk yang menghasilkan aliran yang bergulung ke atas. Sudu piringan pejal dapat diaplikasikan untuk kondisi laminar [3]. Eksperimen pengukuran pemanjangan atau *stretching* dilakukan untuk visualisasi pencampuran 2 dimensi. Kontur area campuran pasif ditemukan terjadi pada garis paralel yang dikategorikan sebagai *large stretching*. Besarnya *stretching* lokal bervariasi sebanyak 12 urutan ukuran [8]. Penelitian waktu pencampuran dilakukan secara numerik dan eksperimen. Hasil penelitian menunjukkan kesesuaian antara 2 metode ini. Waktu pencampuran sangat dipengaruhi oleh ukuran sudu [5].

Penelitian eksentrisitas poros dilakukan untuk perbandingan 2 posisi poros pengaduk.

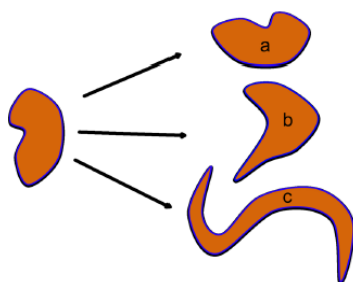
Posisi poros berpengaruh terhadap aliran bahan yang diproses. [9]. Penelitian tangki ellip bersirip dilakukan dengan memposisikan sirip di dasar tangki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sirip sangat berpengaruh terhadap aliran bahan dan unjuk kerja pencampuran [7]. Penelitian visualisasi pencampuran dilakukan untuk sudu koaksial tunggal pada daerah laminer dengan Re 2.68. Pengamatan dilakukan untuk fenomena aliran radial tunggal dan ganda yang disebabkan putaran sudu pengaduk. Pengamatan dilakukan dengan metode visual. Penggunaan sudu jenis radial ini terbukti mampu meningkatkan unjuk kerja pemompaan bahan [10]. Simulasi pencampuran dilakukan untuk *mixer* poros vertikal. Hasil penelitian menunjukkan adanya aliran vorteks di antara bilah sudu pengaduk [11].

Mixer poros vertikal (*vertical stirred mixer*) banyak digunakan dalam rumah tangga dan industri. Desain yang optimum akan dapat menurunkan konsumsi daya listrik yang dibutuhkan motor penggerak. Dalam sektor usaha, *mixer* poros vertikal yang membutuhkan konsumsi energi listrik yang rendah dapat mengurangi kebutuhan operasional usaha sehingga dapat digunakan sebagai bentuk upaya perbaikan usaha. Tangki pengaduk umumnya berbentuk silinder dengan diameter tertentu. Poros pengaduk diposisikan di garis sumbu tangki. Poros pengaduk juga dapat diposisikan bergeser dari sumbu poros atau eksentrisitas. Sudu dengan ukuran tertentu diposisikan dengan jarak tertentu terhadap dasar tangki. Gerak putar poros pengaduk berpengaruh terhadap aliran fluida dan direpresentasikan dalam angka Reynold [3].

$$Re = \frac{ND^2}{\nu} \quad (1)$$

Dimana:

- N = kecepatan putar poros (rpm)
- D = Diameter sudu (m)
- ν = viskositas kinematik = kg m/dt²



Gambar 1. Skema penjejak [12]

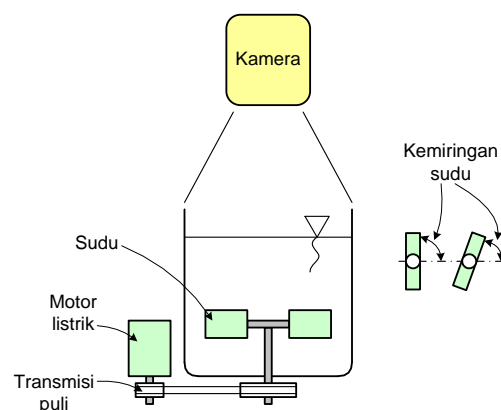
Pengamatan proses pencampuran dilakukan dengan menggunakan bahan penjejak yang direkam sebuah kamera. Bahan penjejak akan mengalami gerakan karena pengaruh gerakan poros pengaduk dan sudunya. Gerakan dapat berupa gerak translasi atau rotasi sehingga bahan penjejak akan mengalami perpanjangan

(*stretching*) seperti gambar 1a dan penekukan (*folding*) seperti gambar 1 b dan 1c. Fenomena *stretching* dan *folding* diteliti untuk unjuk kerja pencampuran pada kondisi *chaos*. Dua jenis fenomena ini merupakan indikator unjuk kerja proses pencampuran bahan [12].

Optimasi penggunaan *mixer* poros vertikal dalam proses pencampuran bahan berkaitan dengan konsumsi energi listrik. Energi listrik ini digunakan sebagai tenaga penggerak motor listrik yang akan memutar sudu pengaduk. Desain yang optimum akan menghasilkan unjuk kerja proses pencampuran yang efisien. Proses pencampuran akan berjalan optimum dengan penggunaan energi listrik yang relatif kecil. Jumlah sudu pengaduk akan mempengaruhi hambatan gerak sudu dalam fluida yang diproses. Demikian halnya dengan sudut kemiringan sudunya. Efek hambatan ini berpengaruh terhadap tenaga yang dibutuhkan dalam gerak sudu pengaduk sehingga akan berpengaruh pula terhadap kebutuhan energi listriknya. Untuk itu diperlukan suatu penelitian pengaruh jumlah dan kemiringan sudu *mixer* poros vertikal (*vertical stirred mixer*) terhadap unjuk kerja proses pencampuran.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan *mixer* poros vertikal dengan tangki berdiameter 18 cm dan tinggi 12 cm seperti skema pada gambar 3. Jumlah sudu divariasikan sebesar 2, 3 dan 4 sudu. Sudu kemiringan sudu divariasikan sebesar 90°, 80°, 70° dan 60°. Sudut kemiringan ini adalah posisi sudu pengaduk terhadap garis sumbu vertikal lengan pemegang sudu. Putaran poros pengaduk sebesar 10 rpm dengan penggerak motor listrik yang dilengkapi transmisi puli. Bahan yang diproses adalah cat tembok putih. Cat tembok hitam digunakan sebagai bahan penjejak pola pencampuran. Pengamatan dilakukan dengan sebuah kamera yang diposisikan di atas tangki pengaduk.



Gambar 2. Skema peralatan penelitian

Prosedur pengambilan data dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Cat warna putih dimasukkan sejumlah 0,8 liter.
3. Meneteskan bahan penjejak $\pm 1 \text{ cm}^2$.
4. Menghidupkan motor listrik.
5. Merekam proses pencampuran sampai 2 putaran poros pengaduk.
6. Mengulangi percobaan untuk variasi yang lain.

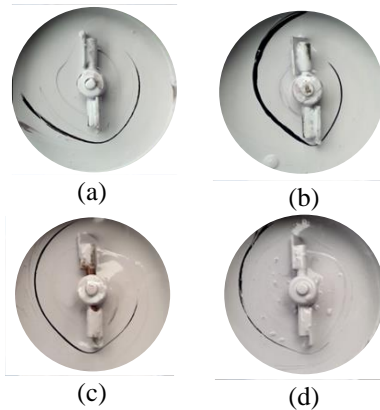
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data *stretching* (2 putaran poros)

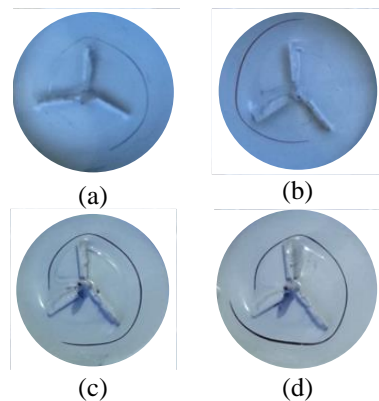
Kemiringan sudu (°)	2 sudu	3 sudu	4 sudu
60	25.86	26.04	26.73
70	26.19	25.81	24.17
80	24.51	22.38	20.94
90	21.38	18.64	18.25

Tabel 2. Data *folding* (2 putaran poros)

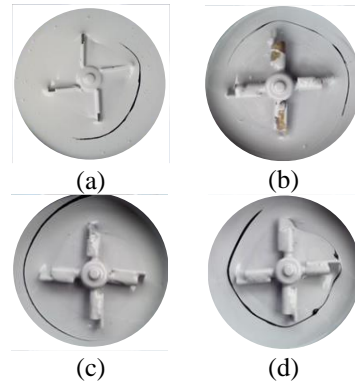
Kemiringan sudu (°)	2 sudu	3 sudu	4 sudu
60	5	4	4
70	4	3	3
80	3	3	2
90	3	2	2



Gambar 4. Foto mixing 2 sudu (a) 90°, (b) 80°, (c) 70° dan (d) 60°

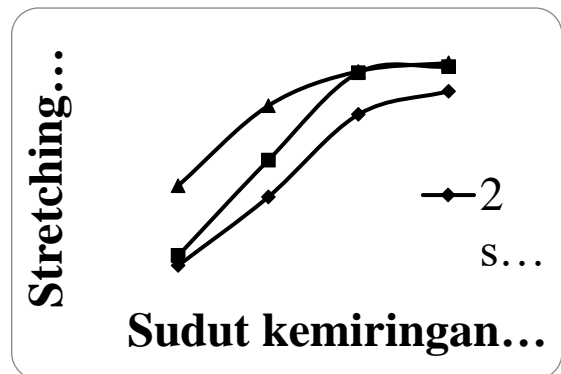


Gambar 5. Foto mixing 3 sudu (a) 90°, (b) 80°, (c) 70° dan (d) 60°



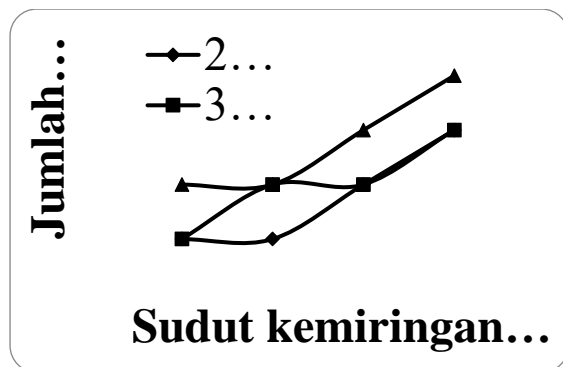
Gambar 6. Foto mixing 4 sudu (a) 90°, (b) 80°, (c) 70° dan (d) 60°

Foto-foto *mixing* pada gambar 4 sampai 6 menunjukkan pola penyebaran bahan penjejak. Foto-foto ini menunjukkan pola-pola yang berbeda sesuai dengan jumlah sudu pengaduk. Sudu berjumlah 2 buah menunjukkan garis penyebaran bahan penjejak yang cenderung berbentuk ellip. Sudu berjumlah 3 buah, garis penyebaran bentuk ellipnya cenderung melebar. Sudu berjumlah 4 buah menunjukkan pola garis yang cenderung membentuk lingkaran. Foto-foto *mixing* juga menunjukkan bagian ujung sudu menyebabkan pola penyebaran bahan penjejak yang cenderung menjauhi titik pusat poros penggerak.



Gambar 7. Grafik *stretching* (2 putaran poros)

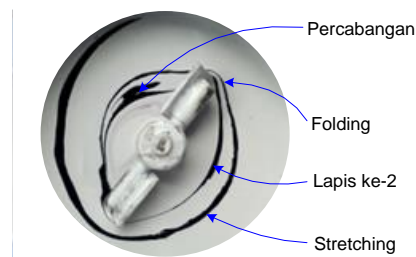
Grafik pada gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan sudu maka *stretching* cenderung semakin besar. Grafik juga menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah sudu maka *stretching* juga cenderung semakin besar. *Stretching* maksimum terjadi pada jumlah sudu 4, sudut kemiringan 90° yaitu sebesar 26,19 cm. *Stretching* minimum terjadi pada jumlah sudu 2, sudut kemiringan 60° yaitu sebesar 18,25 cm.

Gambar 8. Grafik *folding* (2 putaran poros)

Grafik pada gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar sudut kemiringan sudu maka *folding* cenderung semakin besar. Grafik juga menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah sudu maka *folding* juga cenderung semakin besar. *Folding* maksimum terjadi pada jumlah sudu 4, sudut kemiringan 90° yaitu sebesar 5. *Folding* minimum terjadi pada jumlah sudu 2 dan 3, sudut kemiringan 60° yaitu sebesar 2.

Semakin besar sudut kemiringan sudu maka *stretching* cenderung semakin besar. Hal ini disebabkan karena sudut kemiringan menyebabkan luasan sudu yang mengalami gaya hambat dalam pengadukan juga semakin kecil. Luasan ini merupakan luasan yang tegak lurus dengan arah gerak putar sudu. Kemiringan sudu menyebabkan luasan yang mengaduk bahan menjadi lebih kecil. Hal ini menyebabkan bahan penjejak tidak terbawa oleh gerakan sudu secara optimal. Grafik juga menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah sudu maka *stretching* juga cenderung semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah sudu maka luasan yang mengaduk bahan juga semakin besar. Luasan yang semakin besar ini mampu menyebabkan penyebaran bahan penjejak yang lebih besar pula.

Semakin besar sudut kemiringan sudu maka *folding* cenderung semakin besar. Luasan sudu yang kecil kurang dapat menyebarkan bahan penjejak dan hanya sedikit membuat pola-pola tekukan karena bahan yang dipindahkan juga relatif lebih sedikit. Grafik juga menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah sudu maka *folding* juga cenderung semakin besar. Jumlah sudu yang lebih banyak menyebabkan garis penyebaran bahan penjejak mendapatkan pengaruh gerak sudu-sudu *mixer* sehingga garis penyebaran ini mengalami perubahan yang lebih besar.

Gambar 9. *Stretching* dan *folding*

Pola penyebaran pencampuran bahan dalam bentuk *stretching* dan *folding* dapat dilihat pada gambar 9. Pola *stretching* menunjukkan kecenderungan perubahan dimensi lebar garis *stretching* yang semakin mengecil. Garis *stretching* cenderung mendekati sumbu poros pengaduk seperti yang terlihat pada garis lapis ke-2. Pola *folding* terjadi karena pengaruh gerak sudu, terutama saat bagian ujung sudu bergerak menyeret garis *stretching*. Garis yang mendekati sumbu poros ini selanjutnya dapat menghasilkan pola *folding* yang lebih baik, dimana *folding* yang terjadi tidak hanya dalam bentuk penekukan garis tetapi telah menghasilkan pola percabangan. Pola percabangan ini merupakan pola penyebaran bahan penjejak yang lebih besar.

Mengacu pada persamaan (1) di bagian latar belakang, dengan nilai kecepatan putar dan diameter sudu yang relatif kecil maka akan didapat nilai bilangan Reynold (Re) yang relatif kecil pula. Bilangan Reynold yang rendah menunjukkan bahwa aliran bahan termasuk dalam kategori aliran laminar. Dalam sistem *mixing* aliran laminar, bahan yang diproses memiliki ketergantungan yang relatif rendah terhadap waktu karena adanya gaya viskos. Pencampuran dengan aliran laminar cenderung menyebabkan area pencampuran yang terbatas sebagai akibat terbatasnya gerak sudu. Hal ini dapat menyebabkan waktu pencampuran yang relatif lama dan membutuhkan energi yang relatif besar untuk mencapai keseragaman hasil pencampuran [13].

Jumlah dan sudut kemiringan sudu yang berbeda menyebabkan perbedaan luasan permukaan yang bergerak tegak lurus ke arah bahan. Perbedaan terletak hambatan gerak yang berbeda pula. Hal ini terkait dengan gaya hambat (*drag*) yang terjadi. Gaya hambat ini selanjutnya akan menentukan besarnya daya (*power*) yang dibutuhkan oleh sumber penggerak. Sumber penggerak berupa motor listrik akan menentukan besarnya energy listrik yang dikonsumsi. Jumlah sudu yang semakin besar memang menghasilkan *stretching* dan *folding* yang lebih besar tetapi akan membutuhkan energy gerak yang lebih besar. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengkaji kombinasi yang optimal dalam proses pencampuran bahan.

KESIMPULAN

Secara umum, jumlah dan kemiringan sudu berpengaruh terhadap *mixer* poros vertikal berpengaruh terhadap unjuk kerja pencampuran. Pengaruhnya adalah:

- a. Semakin besar sudut kemiringan sudu maka *stretching* cenderung semakin besar.
- b. Semakin besar sudut kemiringan sudu maka *folding* cenderung semakin besar.
- c. Jumlah sudu membentuk pola penyebaran bahan penjejak yang berbeda.

SARAN

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan untuk mengkaji gaya hambat dan konsumsi energi yang dibutuhkan sumber penggerak. Hal ini dapat dilakukan untuk mendapatkan model *mixer* yang optimum untuk proses pencampuran bahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan melalui skim Penelitian Dosen Pemula (PDP) Kemeristekdikti TA 2016/2017.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ibrahim S. 2007. *Mixing in the Mechanically Agitated Bioreactor: 'A Matter of Being Stirred, not Shaken'*. Journal - The Institution of Engineers, Malaysia 68(3): pp. 43-48
- [2] Syrjanen J, Haavisto S, Koponen A, Manninen M. 2009. *Particle Velocity and Concentration Profiles of Sand – Water Slurry in Stirred Tank – Measurements and Modelling*. Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia
- [3] Hormann T, Suzzi D, Khinast JG. 2011. *Mixing and Dissolution Processes of Pharmaceutical Bulk Materials in Stirred Tanks: Experimental and Numerical Investigations*. Ind. Eng. Chem. Res. 2011, 50: pp. 12011–12025
- [4] Tran ALH. 2015. *Powder Flow In Vertical High Shear Mixer Granulators*. Thesis. School of Chemical Engineering. The University of Queensland
- [5] Mununga L, Hourigan K, Thompson M. 2001. *Comparative Study of Flow in a Mixing Vessel Stirred by a Solid Disk and a Four Bladed Impeller*. 14th Australasian Fluid Mechanics Conference Adelaide University, Adelaide, Australia
- [6] Hartmann H, Derksen JJ, Van den Akker HEA. 2006. *Mixing Times in a Turbulent Stirred Tank by Means of LES*. AIChE Journal 52(11): pp. 3696-3706
- [7] Xuedong L, Zhiyan L. 2010. *Numerical Simulation of Flow Field in a Elliptic Bottom Stirred Tank with Bottom Baffles*. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering 4(5): pp. 428-432
- [8] Voth GA, Haller G, Gollub JP. 2002. *Experimental Measurements of Stretching Fields in Fluid Mixing*. Physical Review Letters 88(25): pp. 254501-1 - 254501-4
- [9] Montante G, Bakker A, Paglianti A, Magelli F. 2006. *Effect of the Shaft Eccentricity on the Hydrodynamics of Unbaffled Stirred Tanks*. Chemical Engineering Science 61: pp. 2807–2814
- [10] Millan AH, Taboada B, Vega-Alvarado L, Zenit R, Ascanio G. 2012. *Enhancement of Laminar Mixing in Stirred Vessel using Geometrical Perturbations*. Journal of Applied Research and Technology 10: pp. 520-533
- [11] Dagadu CPK, Stegowski Z, Sogbey BJAY, Adzaklo SY. 2015. *Mixing Analysis in a Stirred Tank Using Computational Fluid Dynamics*. Journal of Applied Mathematics and Physics 3: pp. 637-642
- [12] Ma T, Ouellette NT, Bollt EM. 2016. *Stretching and Folding in Finite Time*. Chaos 26: pp. 023112-1 - 023112-11
- [13] Zhang J, Li X, He R, Liang J. 2015. *Study on Double-Shaft Mixing Paddle Undergoing Planetary Motion in the Laminar Flow Mixing System*, Advances in Mechanical Engineering 2015, Vol. 7(7): pp. 1–12
- [14] Data hasil percobaan berupa rekaman video di-capture frame by frame untuk mendapatkan foto-foto pola pencampuran. Foto-foto ini selanjutnya dianalisis dengan software Kinovea 0.8.15 untuk mendapatkan nilai *stretching* dalam satuan panjang (cm). Data foto juga digunakan untuk menghitung banyaknya *folding* yang terjadi pada setiap variasi