

# Stress-Strain Response Material Polymer Poly Lactid Acid dengan Experimental Measurements dan Numerical Simulations

Agris Setiawan \*

Program Studi Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, Indonesia

## Abstrak

Teknologi simulasi dan additive manufacture berdampak luar biasa karena kemudahannya dalam menciptakan model dan purwa rupa 3 dimensi lebih efisien dibanding dengan membuat model secara konvensional. Filament PLA (Polylactide Acid) akan memudahkan para pelajar bidang kedirgantaraan dalam mendesain dan membuat prototipe bagian UAV maupun pesawat yang selama ini dibuat dengan cara konvensional. PLA merupakan jenis plastik yang termasuk dalam golongan  $\alpha$ -liphatic polyester yang secara umum dibuat dari  $\alpha$ -hydroxy acid dan bersifat biodegradable. Tujuan penelitian ini adalah 1). Mendapatkan hasil model simulasi stress-strain, 2). Mendapatkan data numerical sifat mekanis dari model.

Numerical modeling 3 dimensi yang kemudian dalam simulasi memerlukan proses meshing dan constrain antara node displacement, Rapid Prototyping (RP) adalah sebuah istilah yang digunakan untuk menggambarkan teknologi yang dapat membuat benda tiga dimensi dalam satu proses secara langsung melalui CAD Rapid Prototyping menyederhanakan kompleksitas proses pembuatan 3D. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen yaitu pengujian tarik material PLA dengan standar ASTM D68 Tipe 4 dicetak menggunakan 3D Printer dengan parameter proses mesin yaitu print speed 50 mm/s dan temperatur extruder 220 °C. Proses modeling menggunakan software Abaqus 6.11.

Hasil penelitian menghasilkan : 1). Spesimen uji tarik mempunyai nilai rerata kekuatannya sebesar 27,76 MPa. Nilai rerata  $\sigma_{YS}$  yaitu sebesar 25,38 Mpa. 2). Tegangan maksimum model spesimen uji tarik/ S.Max. Principal setelah pengujian adalah 9.611e-27 pada elemen 129. Maximum Stress Pressure distribution pada element 415 sebesar 4,29E-25.

**Kata kunci:** 3D Printer, poly lactide acid, tensile test, finite element

## Pendahuluan

Teknologi simulasi dan additive manufacture berdampak luar biasa karena kemudahannya dalam menciptakan model dan purwa rupa 3 dimensi lebih efisien dibanding dengan membuat model secara konvensional. Aplikasi simulasi dan printer 3 dimensi dapat digunakan di industri pesawat, industri kapal, mobil hingga aplikasi medis.

Filament PLA (Polylactide Acid) akan memudahkan para pelajar bidang kedirgantaraan dalam mendesain dan membuat prototipe bagian UAV maupun pesawat yang selama ini dibuat dengan cara konvensional. PLA merupakan jenis plastik yang termasuk dalam golongan  $\alpha$ -liphatic polyester yang secara umum dibuat dari  $\alpha$ -hydroxy acid dan bersifat biodegradable (Garlotta, 2001). Menurut Garlotta (2001), PLA dapat diurai melalui hidrolisis pada ikatan esternya tanpa membutuhkan enzim sebagai katalis dalam proses hidrolisis.

---

\* E-mail address: [agrissetiawan@gmail.com](mailto:agrissetiawan@gmail.com)

Available online 31 Juli 2020

## Tinjauan Pustaka

### a. Modeling

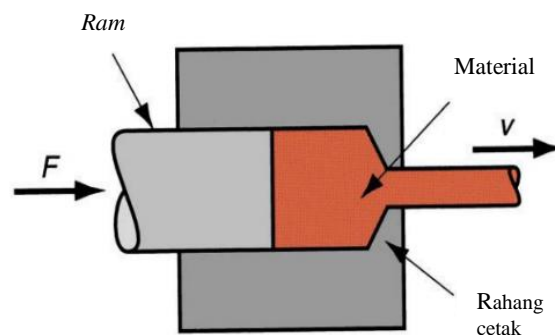
Numerical modeling 3 dimensi yang kemudian dalam simulasi memerlukan proses meshing dan constrain antara node displacement, kedua hal tersebut dapat dilakukan menggunakan Abaqus (Abaqus, 2012). Perbandingan antara simulasi dan hasil eksperimen menunjukkan bahwa adalah dimungkinkannya untuk mereplikasi respon tegangan-regangan untuk menghindari terjadinya koalesensi dengan menyesuaikan parameter dari model zona kohesif. Setelah ini dilakukan, perubahan volume diprediksi cukup baik (Gilormini dkk, 2017).

### b. Rapid Prototyping

Rapid Prototyping (RP) adalah sebuah istilah yang digunakan untuk menggambarkan teknologi yang dapat membuat benda tiga dimensi dalam satu proses secara langsung melalui CAD Rapid Prototyping menyederhanakan kompleksitas proses pembuatan 3D dengan mereduksinya kedalam serangkaian ketebalan terbatas bentuk 2D atau lapisan dan menambahkan keduanya bersama-sama (Gibson, 2010).

### c. Proses Ekstrusi

Proses ekstrusi adalah proses pembentukan produk dimana material awal dimasukkan ke dalam dies lalu ditekan melewati sebuah lubang cetakan dengan menggunakan gaya tekan mekanik maupun hidrolik (Aran, 2007). Secara umum prinsip proses ekstrusi ditunjukkan pada Gambar 2. Material ditekan dengan sebuah ram dengan gaya sebesar  $F$  melalui *dies* sehingga terbentuk produk dengan profil yang diinginkan. Aran (2007) mendefinisikan proses ekstrusi sebagai proses pembentukan produk dimana material dalam sebuah pipa ditekan melewati sebuah lubang cetakan menggunakan gaya tekan mekanik atau hidrolik.melalui rahang cetakan sehingga terbentuk profil sesuai dengan yang diinginkan. Pada awal perkembangannya, proses ekstrusi digunakan untuk proses pembentukan material logam. Kalpakjian dan Schmid (2003) menjelaskan dalam bukunya bahwa proses ekstrusi untuk material logam terbagi menjadi empat tipe yaitu: ekstrusi langsung, ekstrusi tidak langsung, ekstrusi hidrostatik, dan ekstrusi kejut (*impact*).



Gambar 1. Proses Ekstrusi

**d. Pengujian Sifat Mekanis Bahan**

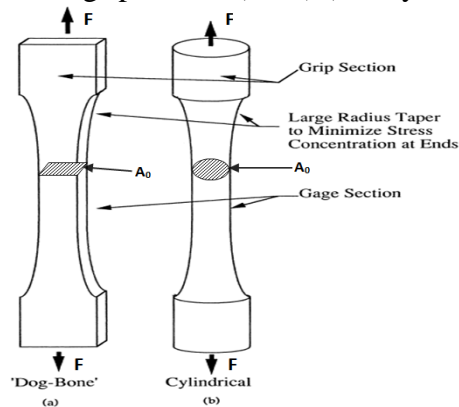
**1. Uji Tarik/ *Ultimate Tensile Strength* (UTS)**

Uji tarik dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data yang digunakan untuk mendukung spesifikasi bahan. Pada uji Tarik bahan/spesimen diberi gaya tarik sesumbu yang kemudian bertambah secara kontinyu seperti pada Gambar 3. Spesimen uji tarik. Bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami bahan uji/spesimen. Untuk menghitung tegangan membujur rata-rata pengujian tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas awal penampang melintang pada bahan yang diuji. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$\sigma = F/A_0 \tag{1}$$

dengan :

- $\sigma$  : kekuatan tarik (MPa)
- F : beban maksimum saat (N)
- $A_0$  : luas penampang melintang specimen (mm<sup>2</sup>) (Ashby,1998)



Gambar 2. Spesimen uji tarik (a) penampang rata atau “dog-bone” dengan daerah pencekaman yang luas yang dikurangi untuk bagian pengukuran/gage section, (b) specimen uji tarik bentuk silindris (Davis, 2004).

**Hasil dan Pembahasan**

**a. Parameter Process Setting Mesin 3 D Printer**

Parameter setting mesin 3 D printer mengacu pada *print speed* dan *temperature extruder* dengan diameter filamen 3 mm.

Tabel 1. Variasi *Setting 3D Printer*

Kode Spesimen	Print Speed (m/s)	Temperature Extruder (°C)
X	50	220°C

Proses pencetakan spesimen dilakukan di Laboratorium AMTO STTKD Yogyakarta.

### b. Tensile Strength

Dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil pengujian tarik didapatkan nilai  $\sigma_{UTS}$  pada tiap spesimen dengan variasi pengaturan *print speed*-nya. Hasil perbandingan dari nilai rerata kekuatan tarik/*tensile strength* ( $\sigma$ ).

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik

Kode Spesimen	$\sigma_{UTS}$ (MPa)
X1	27,63
X2	29,36
X3	26,30
Rerata	27,76

Spesimen uji tarik mempunyai nilai rerata kekuatan tariknya sebesar 27,76 MPa. Nilai rerata  $\sigma_{YS}$  yaitu sebesar 25,38 Mpa.

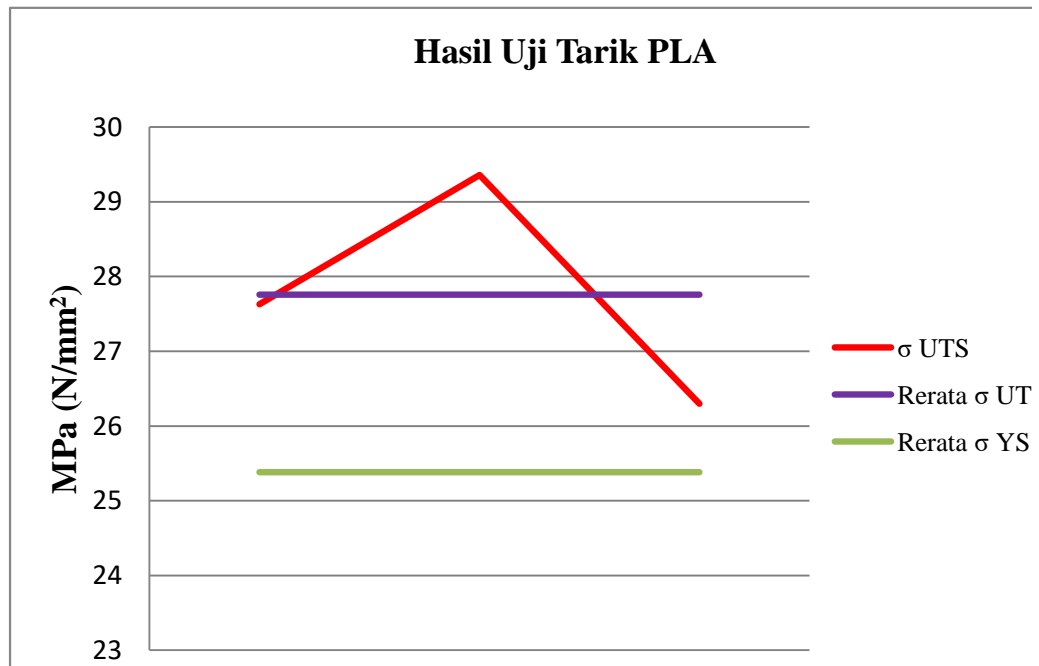
### c. Yield Strength

Dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai rerata yield strength dan Young's modulus dari pengujian tarik. Hasil nilai rerata yang didapat dari variasi spesimen maka nilai yield strength ( $\sigma_{ys}$ ) yang tertinggi didapat pada spesimen X2 dengan nilai sebesar 26,88 MPa, spesimen X1 mempunyai nilai yield strength ( $\sigma_{ys}$ ) sebesar 25,06 MPa. Spesimen X3 nilai yield strength ( $\sigma_{ys}$ ) sebesar 24,20 MPa.

Tabel 3. Nilai *Yield Strength* dan *Young's Modulus*

Kode Spesimen	$\sigma_{YS}$ (MPa)	Young's Modulus
X1	25,06	1305,01
X2	26,88	1231,89
X3	24,20	1046,29
Rerata	25,38	1194,40

Pada Gambar 3. Nilai *Young's modulus* spesimen dapat dilihat terjadi penurunan nilai *yield strength* pada spesimen X1, spesimen X2 dan spesimen X3.



Gambar 3. Hasil Uji *Tarik PLA* (Poly Lactid Acid)

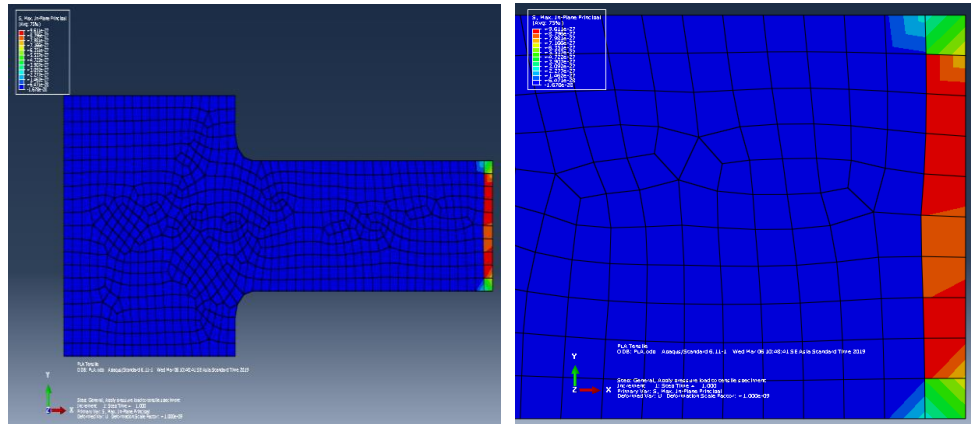
#### d. Model Simulasi *Finite Element*

Spesimen ASTM D 638 tipe 4 dan dengan pengujian *tensile test* dengan ukuran *length* : 100 mm, *width* : 50, *thickness* : 3 mm yang dipotong simetris untuk menyederhanakan komputasi.

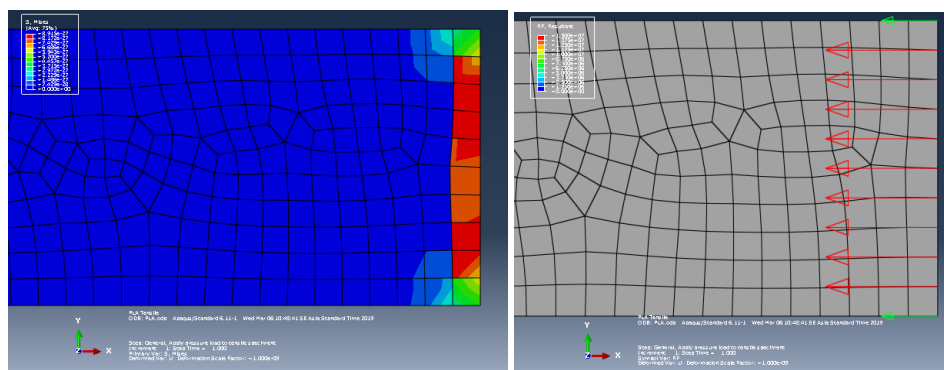


Gambar 4. Simulasi spesimen uji tarik ASTM D 638 tipe 4

Tegangan maksimum model spesimen uji tarik setelah pengujian adalah  $9.611e-27$  dengan SI units Load diterapkan dengan *Pressure distribution uniform* dengan *magnitude*  $-5E+006$  atau sebesar  $-5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  atau sebesar 500 MPa. Meshing dilakukan dengan *Meshing Element 0.5*



Gambar 5. *Pressure Distribution* tegangan tarik maksimal



(a)

(b)

Gambar 6. (a) Disribusi tegangan Von Mises; (b) Deformasi Plastik struktur *mesh* dengan arah reaksi gaya tarik

Hasil simulasi model spesimen uji tarik PLA pada Tabel 4, didapatkan *stress maximum principal element integration part* dan *maximum stress principal element integration part* yang dijumlahkan maka didapatkan data S.Mises sebesar  $9,93E-22$ , *Maximum Stress Pressure distribution* pada *element 415* sebesar  $4,29E-25$ .

Tabel 4. Hasil Modeling Stress

Element	Int	S.Mises	S.Max. Prin	S.Min. Prin	S.Pressure
<b>Minimum</b>		1,64E-31	0.	-1,45E-22	-3,74E-22
<b>At Element</b>		328	822	351	129
<b>Int Pt</b>		1	1	1	1
<b>Maximum</b>		8,91E-23	9,61E-23	0.	4,29E-25
<b>At Element</b>		129	129	824	415
<b>Int Pt</b>		1	1	1	1
<b>Total</b>		9,93E-22	8,61E-22	-2,13E-22	-2,55E-22

## Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah spesimen uji tarik mempunyai nilai rerata kekuatan tariknya sebesar 27,76 MPa. Nilai rerata  $\sigma_{YS}$  yaitu sebesar 25,38 MPa. Tegangan maksimum model spesimen uji tarik/ *S.Max. Principal* setelah pengujian adalah  $9.611e-27$  pada elemen 129. *Maximum Stress Pressure Distribution* pada *element* 415 sebesar  $4,29E-25$ .

## Daftar Pustaka

- [1] Abaqus , 2012. Dassault Systèmes Simulia Corporation. Providence, RI, USA .
- [2] Ashby, M. F. 1998. Engineering Materials (2nd ed.) , Butterworth-Heinemann. Oxford.
- [3] Davis, H.E., Leach, J.K., 2008, Hybrid and Composite Biomaterials in Tissue Engineering, *Multifunctional Biomaterials and Device*, pp.1-26.
- [4] Garlotta, D., 2011, A Literature Review of Poly(Lactic Acid), *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 9, no. 2, pp. 63 – 84.
- [5] Gilormini, P., AyméToulemonde, P., Diani, J., Gardere, A., 2017, Stress-strain response and volume change of a highly filled rubbery composite: Experimental measurements and numerical simulations ,*Mechanic Of Material* pp. 57-65, Elsevier.
- [6] Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B., 2010, *Additive Manufacturing Technologies Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, Springer. Heynick, M. dan Stotz, I., 2006, 3D CAD, CAM and Rapid Prototyping, *LAPA Digital Technology Seminar*,v1.1.
- [7] López, M. M., Barrerab G. M., Díaza, J. J. C., Martíneza. J. , Gencelc, O., Ribeirod, M. C.S., Guerreroe, V.V., 2018 , Polymer waste materials as fillers in polymer mortars: experimental and finite elements simulation, *Case Studies in Construction Materials* 9, Elsevier.