

**ANALISIS MODULUS ELASTISITAS DAN ANGKA POISSON BAHAN DENGAN UJI TARIK**  
(*The Analysis of Modulus of Elasticity and Poisson Number using the Pull Test*)

**MATHEUS SOUISA**

*Staf Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Pattimura*  
Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Unpatti, Poka-Ambon

**ABSTRACT**

Observation of the stress and strain in materials steel, brass and anneal is done by testing to determine the tensile modulus of elasticity of the material. The results showed that the modulus of elasticity of the material brass is smaller than the brass alloy steel and steel materials, caused by the formation of the composition of the material is different. The relationship between stress and strain are used to gain slope value, and this value used to determine the modulus of elasticity of steel materials, brass and anneal. The analysis showed that the magnitude of the modulus of elasticity of brass material  $\kappa_{\text{brass}}=(20.10 \pm 1.60) \times 10^9$  Pa, anneal materials  $\kappa_{\text{anneal}}=(68.10 \pm 2.20) \times 10^9$  Pa, and steel materials  $\kappa_{\text{steel}}=(201, 00 \pm 5.30) \times 10^9$  Pa. The results of tensile tests conducted on all three materials can be used to determine the comparative figures Poisson. The analysis showed the amount of comparative figures in steel material Poisson  $m_{\text{steel}}=0.106 \pm 0.002$ , brass material  $m_{\text{brass}}=0.104 \pm 0.002$  and anneal materials  $m_{\text{anneal}}=0.103 \pm 0.005$ . Figures Poisson appeal on steel materials is greater than the brass and anneal.

**Keywords:** *Modulus of elasticity, stress, strain, poisson numbers*

**PENDAHULUAN**

Regangan dan tegangan memiliki hubungan yang mencirikan sifat bahan untuk tingkat pembebanan yang masih dalam batas tertentu, dan terdapat hubungan yang proposional antara komponen tegangan dan komponen regangan yang berpasangan. Proposionalitas hubungan tersebut dicerminkan oleh sifat elastisitas linier bahan, seperti modulus elastisitas Young, angka perbandingan Poisson, maupun modulus geser. Pada batas atau daerah proposional ini berlaku hukum Hooke. Tingkat pembebanan yang menimbulkan respons yang tidak bersisa setelah penghapusan beban, dinamakan batas elastik, dan jika melebihi batas elastik atau batas keselamatan maka benda tersebut mengalami retak atau patahan.

Dalam berbagai referensi daerah proposionalitas tergantung pada berbagai jenis bahan yang digunakan dan sifat elastisitas bahan tersebut. Sifat elastisitas bahan ini ditunjukkan dengan modulus elastisitas, dan harga dari modulus elastisitas dalam berbagai referensi merupakan harga yang sifatnya representatif (Kane and Sternheim, 1976. *terjemahan* Silaban, 1991:371). Ini berarti untuk menentukan harga yang sebenarnya sangat sulit, sebab

untuk menentukan harga sebenarnya pada bahan tertentu biasanya sangat berbeda.

Dalam penelitian ini, akan menggunakan bahan (material) untuk dilakukan dengan hanya menggunakan perlakuan tarik, dan tidak dilakukan perlakuan tekan. Pada kasus ini yang akan dikaji adalah benda yang akan ditarik dengan gaya minimum sampai gaya maksimum sehingga benda mengalami retak atau patah. Hal ini berarti dapat menunjukkan keterangan dan informasi kuantitatif tentang daerah proposionalitas atau elastisitas, batas elastis dan tarikan maksimum atau patahan. Sekaligus dapat menentukan harga modulus yang merupakan suatu perbandingan antara tegangan terhadap regangan.

**METODE PENELITIAN**

**1. Elastisitas**

Menurut Soedjojo (2004:33) yang menyatakan bahwa bahan elastis adalah bahan yang mudah diregangkan serta cenderung pulih ke keadaan semula, dengan mengenakan gaya reaksi elastisitas atas gaya tegangan yang meregangkannya. Pada hakekatnya semua bahan memiliki sifat elastik meskipun boleh jadi amat

sukar diregangkan. Sedangkan menurut Saroyo (2002: 318), sifat elastik adalah kemampuan benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya luar yang diberikan benda itu dihilangkan. Elastisitas adalah sifat benda yang berdeformasi untuk sementara, tanpa perubahan yang permanen, yaitu sifat untuk melawan deformasi yang terjadi. Sebuah benda dikatakan elastik sempurna jika setelah gaya penyebab perubahan bentuk dihilangkan benda akan kembali ke bentuk semula. Sekalipun tidak terdapat benda yang elastik sempurna, tetapi banyak benda yang hampir elastik sempurna, yaitu sampai deformasi yang terbatas disebut limit elastik. Jika benda berdeformasi diatas limit elastiknya, dan apabila gaya-gaya dihilangkan, maka benda tersebut tidak lagi kembali ke bentuk semula. Sebenarnya perbedaan antara sifat elastik dan plastik, hanyalah terletak pada tingkatan dalam besar atau kecilnya deformasi yang terjadi. Blatt (1986:179) menyatakan bahwa suatu deformasi dikatakan elastik jika (i) deformasi merupakan proposional dengan gaya penyebabnya, (ii) bekerjanya gaya, maka deformasi diabaikan.

## 2. Tegangan (Stress)

Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya. Ada yang kembali ke bentuk aslinya bila gaya dihilangkan, ada pula yang tetap berubah bentuk sedikit atau banyak, (Sears, 1944 *terjemahan* Soedarjana, 1986:236). Jadi, deformasi bahan ditentukan oleh gaya per satuan luas dan bukan oleh gaya total (Kane and Sternheim, 1976. *terjemahan* Silaban, 1991:365). Jika sebuah batang tegar yang dipengaruhi gaya tarik  $F$  ke kanan dan gaya yang sama tetapi berlawanan arah ke kiri, maka gaya-gaya ini akan didistribusi secara uniform ke luas penampang batang. Perbandingan gaya  $F$  terhadap luas penampang  $A$  dinamakan tegangan tarik. Karena perpotongan dapat dilakukan disembarang titik sepanjang batang maka seluruh batang dalam keadaan mengalami tegangan (*stress*) ditulis berikut:

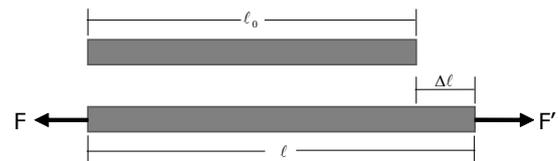
$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{F}{A} \quad (1)$$

dimana,  $\sigma$  = tegangan tarik,  $\text{N/m}^2$  (=Pa),  $F$  = gaya (N) dan  $A$  = luas permukaan ( $\text{m}^2$ ).

## 3. Regangan (Strain)

Perubahan pada ukuran sebuah benda karena gaya-gaya atau kopel dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula disebut regangan. Regangan juga disebut derajat deformasi, (Saroyo, 2002:321). Kata regangan berhubungan dengan perubahan relatif dalam dimensi atau bentuk suatu benda yang mendapat tekanan. Gambar 1, melukiskan suatu batang yang panjang normalnya  $\ell_0$  dan memanjang menjadi  $\ell = \ell_0 + \Delta\ell$  bila pada kedua ujungnya ditarik oleh gaya  $F$ . Pertambahan panjang  $\Delta\ell$ , tentu saja tidak hanya pada ujung-ujung saja; setiap elemen-elemen batang tertarik pada proporsi yang sama seperti batang seluruhnya.

Ada tiga macam regangan, (Kane and Sternheim, 1976. *terjemahan* Silaban, 1991:366) yakni (a) Regangan tarik, (b) Regangan kompresi, dan (c) Regangan geser.



Gambar 1. Regangan membujur

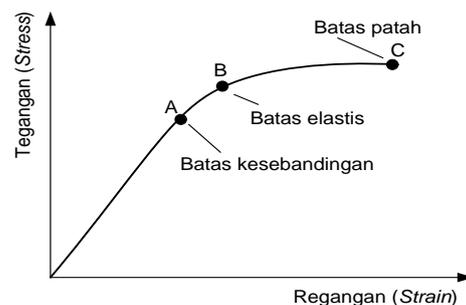
Regangan tarik pada batang didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang semula, yang harganya lebih besar dari 0. Regangan tekan suatu batang yang ditekan didefinisikan dengan cara yang sama sebagai perbandingan antara berkurangnya panjang batang dengan panjang semula, yang harganya lebih kecil dari 0. Jadi perubahan perbandingan pada panjang batang  $\Delta\ell/\ell_0$  dinamakan regangan (Blatt, 1986:183) atau disebut regangan longitudinal (Frauenfelder and Huber, 1966:219), seperti ditulis berikut:

$$\text{Regangan, } (\varepsilon) = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \quad (2)$$

dimana:  $\varepsilon$  = regangan atau bilangan murni,  $\ell$  = panjang batang (m),  $\ell_0$  = panjang semula (m) dan  $\Delta\ell$  = perubahan panjang (m).

## 4. Modulus Elastisitas

Gambar 2, menunjukkan grafik tegangan dan regangan untuk batang padat biasa. Grafik tersebut linier sampai titik A. Hasil bahwa regangan berubah secara linier dengan tegangan dikenal sebagai hukum Hooke. Titik B adalah batas elastik. Jika batang ditarik melampaui titik ini batang tidak akan kembali ke panjangnya semula, tetapi berubah bentuk secara tetap. Jika tegangan yang bahkan lebih besar diberikan, bahan akhirnya patah. Seperti ditunjukkan oleh titik C.



Gambar 2. Menunjukkan grafik tegangan terhadap regangan

Di dalam daerah linier dari grafik tegangan-regangan untuk tarikan atau tekanan (kompresi), kemiringan menyamai nilai banding tegangan terhadap regangan yang dinamakan modulus Young,  $Y$  dari bahan tersebut, (Kane and Sternheim, 1976. *terjemahan* Silaban, 1991:368). Perbandingan tegangan terhadap regangan dalam daerah linier grafik ini disebut juga konstanta karakteristik atau modulus Young suatu bahan, ditulis sebagai:

$$Y = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta\ell/\ell_0} \quad (3)$$

**5. Hubungan Tegangan dan Regangan**

Hubungan antara tegangan dan regangan mengikuti hukum Hooke untuk elastisitas, dalam batas (limit) elastik suatu benda, dan hal ini menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, (Blatt, 1986:185) yaitu

$$\text{Modulus, } \kappa = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} \tag{4}$$

dengan  $\kappa$  disebut modulus elastisitas atau koefisien elastisitas atau konstanta kesebandingan.

Dalam penelitian ini akan ditentukan konstanta proposionalitas atau modulus elastisitas bahan secara grafik, dan berdasarkan konstanta ini dapat ditentukan modulus elastisitas Young, modulus geser dan modulus Bulk. Jadi, hubungan antara gaya tarik pada bahan dengan perubahan panjang mula-mula atau volume mula-mula dapat memberikan suatu hubungan yang linier. Sesuai dengan persamaan (3), diperlukan gaya untuk memberikan deformasi elastisitas bahan, dan hubungan ini (Cutnell and Johnson, 1995:284) dapat dinyatakan dengan:

$$\frac{F}{A} = Y \left( \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \right) \tag{5}$$

**6. Angka Banding Poisson**

Dalam kenyataannya, setiap pemanjangan  $\Delta \ell$  dari panjang semula  $\ell_0$  akan menyebabkan penyusutan lebar  $-\Delta b$ , misalnya dari lebar semula  $b_0$ . Menurut Poisson (Soedjojo, 2004:36), persentase penyusutan lebar akan sebanding dengan persentase pemanjangan. Maka didefinisikanlah apa yang dikenal dengan angka banding Poisson,  $m$  selaku tetapan kesebandingan yang menurut hubungan (Sarojo, 2002:326) berikut:

$$\text{Angka banding Poisson, } m = - \frac{\text{Tegangan transversal}}{\text{Tegangan longitudinal}} \tag{6}$$

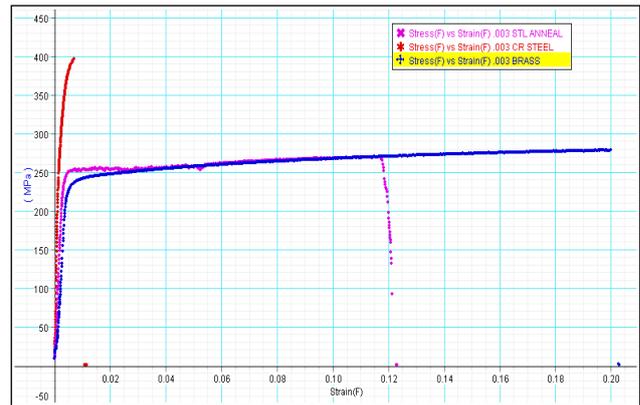
atau ditulis dalam bentuk rumus:

$$m = \frac{-\Delta b / b_0}{\Delta \ell / \ell_0} \tag{7}$$

Besarnya angka banding Poisson tergantung pada jenis bahannya.

**HASIL PENELITIAN**

Hasil pengambilan data yang ditampilkan dengan *Software DataStudio* menggunakan bahan besi (CR steel), kuningan (*brass*) dan baja campuran (STL *anneal*) menggunakan pengujian tarik secara otomatis digambarkan secara grafik untuk mendapatkan hubungan antara tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*) pada masing-masing bahan seperti pada Gambar 3 atau Gambar 4.

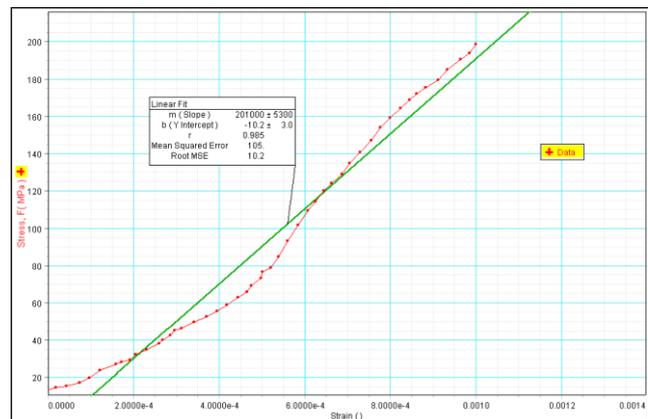


Gambar 3. Tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*) untuk besi, kuningan dan baja campuran dengan perlakuan tarik

Selanjutnya berdasarkan gambar 3 memperlihatkan daerah proposional pada masing-masing bahan, dijadikan sebagai batasan analisis untuk menggunakan metode regresi linear agar supaya dapat menentukan modulus elastisitas bahan seperti tampilan gambar 5 hingga gambar 6. Untuk menganalisis modulus elastisitas pada berbagai dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

1. Penentuan modulus elastisitas besi (CR steel).

Berdasarkan Gambar 4 dapat ditentukan secara langsung rata-rata modulus elastisitas adalah  $201 \times 10^9$  Pa.



Gambar 4. Tegangan (*stress*) Terhadap Regangan (*strain*) Untuk Besi dengan Uji Tarik

Dengan demikian diperoleh modulus elastisitas untuk besi dengan diberikan perlakuan tarik sebesar

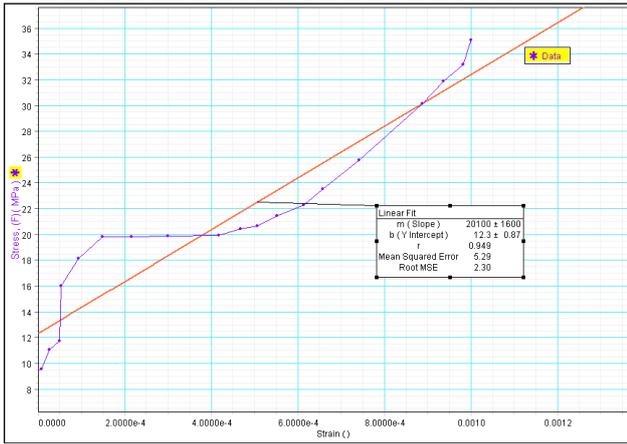
$$\kappa_{\text{steel}} = (201,00 \pm 5,30) \times 10^9 \text{ Pa}$$

2. Penentuan modulus elastisitas kuningan (*brass*)

Berdasarkan Gambar 5 dapat ditentukan secara langsung rata-rata modulus elastisitas kuningan adalah  $20,10 \times 10^9$  Pa.

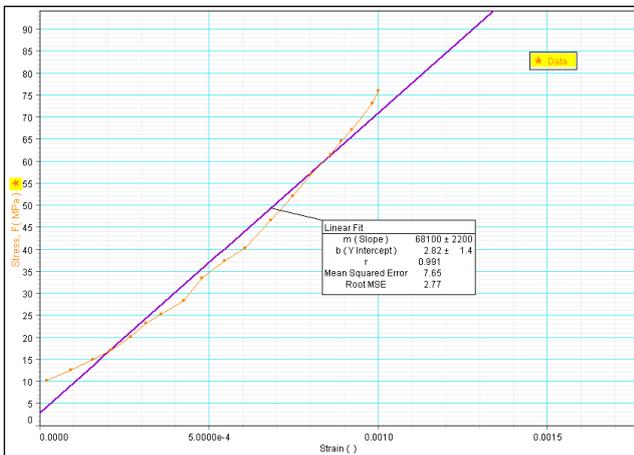
Dengan demikian modulus elastisitas untuk kuningan dengan diberikan perlakuan tarik adalah

$$\kappa_{\text{brass}} = (20,10 \pm 1,60) \times 10^9 \text{ Pa}$$



Gambar 5. Tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*) untuk kuningan dengan uji tarik

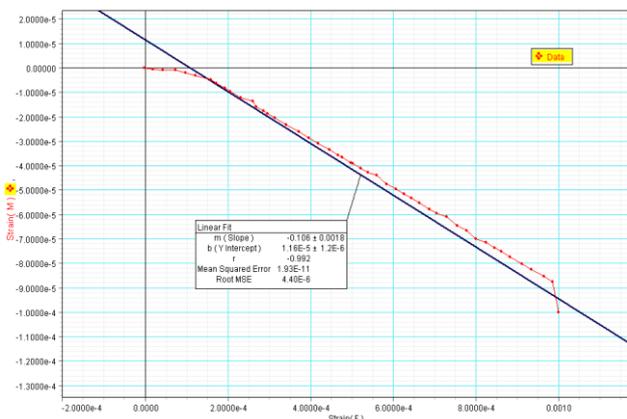
3. Penentuan modulus elastisitas baja campuran (*anneal*)  
 Berdasarkan Gambar 6 dapat ditentukan secara langsung rata-rata modulus elastisitas adalah  $68,10 \times 10^9$  Pa



Gambar 6. Tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*) untuk baja campuran dengan uji tarik

Sehingga modulus elastisitas untuk baja campuran dengan diberikan perlakuan tarik adalah  $\kappa_{anneal} = (68,10 \pm 2,20) \times 10^9$  Pa

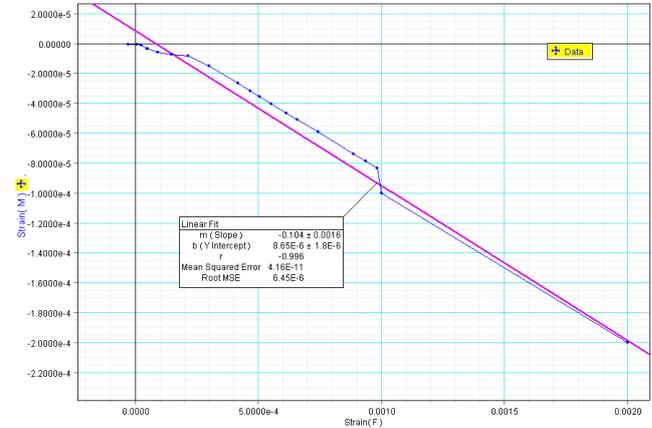
4. Penentuan angka banding Poisson untuk besi (*steel*)



Gambar 7. Tegangan membujur terhadap regangan melintang untuk besi dengan uji tarik

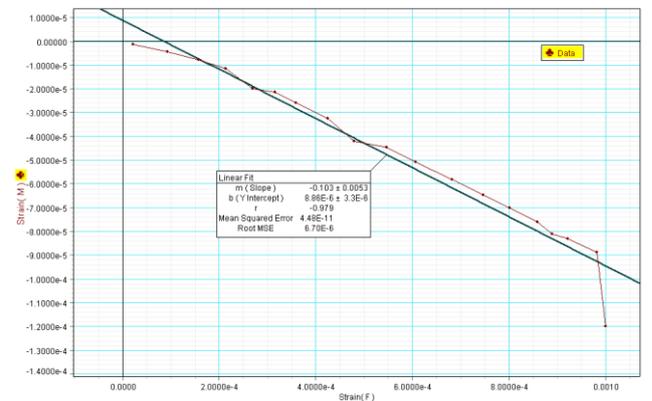
Berdasarkan Gambar 7 dapat diperoleh angka banding Poisson sebenarnya adalah  $0,106 \pm 0,002$ .

5. Penentuan angka banding Poisson untuk kuningan (*brass*)  
 Berdasarkan Gambar 8 dapat diperoleh angka banding Poisson sebenarnya adalah  $0,104 \pm 0,002$ .



Gambar 8. Regangan membujur terhadap regangan melintang untuk kuningan dengan uji tarik

6. Penentuan angka banding Poisson untuk baja campuran (*anneal*)  
 Berdasarkan Gambar 9 dapat diperoleh angka banding Poisson sebenarnya adalah  $0,103 \pm 0,005$ .



Gambar 9. Regangan membujur terhadap regangan melintang untuk baja campuran dengan uji tarik

**PEMBAHASAN**

Dalam penelitian ini, semua bahan (besi, kuningan dan baja campuran) yang terikat kedua ujungnya berubah bentuk karena dipengaruhi oleh gaya tarik sehingga bahan mengalami perpanjangan. Jika gaya tersebut diberikan pada bahan, maka gaya ini akan disalurkan secara merata kedalam bahan sehingga seluruh bahan mengalami tegangan (*stress*). Karena gaya yang diberikan pada bahan adalah gaya tarik maka tegangan yang terjadi pada bahan adalah tegangan tarik. Hal ini berarti bahan mengalami perubahan bentuk dari panjang mula-mula menjadi memanjang, namun lebar bahan menjadi menyusut secara kontinyu apabila bahan mengalami tegangan tarik yang

kontinyu, dan kalau dibiarkan tegangan terus dapat menimbulkan elastisitas menuju ke batas elastik sampai bahan mengalami patahan. Penelitian ini dilakukan pada bahan dengan gaya tarik sampai bahan mengalami patahan.

Suatu bahan yang digunakan dalam penelitian mengalami regangan apabila terjadi perubahan matra atau ukuran seperti bertambah panjang dan berkurangnya lebar akibat adanya tekanan tarik. Setiap bahan akan mengalami deformasi elastik kalau terjadi regangan dalam hal ini regangan tarik. Ketiga bahan (besi, kuningan dan baja campuran) mengalami deformasi elastik maka sudah tentu memiliki hubungan tegangan dan regangan yang disebut sebagai modulus elastisitas atau modulus Young.

Berdasarkan Gambar 3, daerah proporsional pada ketiga bahan berbeda dengan urutan dimana modulus elastisitas yang rendah sampai besar sesuai pengujian linieritas pada bahan kuningan sebesar  $\kappa_{brass} = (20,10 \pm 1,60) \times 10^9$  Pa, bahan baja campuran sebesar  $\kappa_{anneal} = (68,10 \pm 2,20) \times 10^9$  Pa dan bahan besi sebesar  $\kappa_{steel} = (201,00 \pm 5,30) \times 10^9$  Pa. Hal ini disebabkan oleh gaya yang dilakukan pada bahan berbanding lurus dengan elastisitas bahan itu. Misalnya pertambahan panjang bahan berbanding lurus dengan gaya tarik yang menyebabkannya, sehingga bahan kuningan mengalami pertambahan panjang yang lebih besar dari bahan baja campuran maupun bahan besi. Begitupun bahan campuran mengalami pertambahan panjang lebih dari bahan besi. Walhasil, regangan dari bahan kuningan lebih besar dari bahan baja campuran dan bahan besi, sedangkan tegangan bahan kuningan lebih kecil dari bahan baja campuran dan bahan besi. Adanya deviasi nilai modulus elastisitas, karena dalam pencacahan tegangan dan regangan dilakukan mulai dari batas proporsional sampai bahan mengalami patahan.

Hubungan antara tegangan dan regangan mengikuti hukum Hooke untuk elastisitas, dalam batas (limit) elastik suatu bahan, dan hal ini menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan yang dinyatakan sebagai modulus elastisitas. Pada daerah proporsional, modulus elastisitas bahan hasil uji tarik menggunakan bahan besi (CR steel), kuningan (brass) dan baja campuran (STL anneal) terdapat hasilnya sangat berbeda dengan modulus elastisitas bahan yang tertera pada referensi (literature). Karena nilai modulus elastisitas referensi merupakan harga yang sifatnya refresentatif, oleh sebab itu untuk menentukan harga yang sebenarnya sangat sulit, dan untuk menentukan harga sebenarnya pada bahan tertentu biasanya sangat berbeda. Ini terbukti dengan modulus elastisitas penelitian memberikan nilainya juga berbeda. Perbedaan ini disebabkan oleh matra (dimension) bahan yang digunakan memiliki tebalnya 0,3 mm, dan struktur atau komposisi penyusun bahan tersebut berbeda.

Bahan kuningan memiliki batas elastisitas sangat rendah jika dibandingkan dengan bahan baja campuran dan besi. Pada daerah elastik ini terdapat hubungan antara tegangan dan regangan saling ketergantungan atau berbanding lurus, hal ini menunjukkan bahwa jika tegangan makin besar akan menyebabkan regangan pun makin besar, dan sebaliknya jika tegangan semakin kecil maka reganganpun semakin kecil.

Apabila bahan melampaui daerah elastik, kecenderungan bahan sudah berada pada kondisi sangat tegang (kritis) dan bahan akan mengalami perubahan bentuk, sehingga kondisi ini bahan berada pada batas elastik. Dengan kata lain, jika bahan dideformasikan sampai melampaui suatu titik tertentu, bahan tersebut tidak akan kembali kebentuk asalnya jika gaya yang dikenakan padanya ditiadakan, titik ini disebut batas elastik. Sifat bahan yang berada pada batas elastik ini disebut sifat plastik, dan apabila bahan diberikan tegangan terus menerus, maka pada akhirnya bahan mengalami patahan.

Kecenderungan bahan mengalami patahan atau retak lebih cepat jika diberikan tegangan yang sama adalah bahan kuningan kemudian disusul dengan bahan baja campuran dan bahan besi. Hal ini berkaitan dengan kekuatan terhadap bahan tersebut, dimana kuningan memiliki kekuatan tariknya sangat rendah jika dibandingkan dengan bahan baja campuran dan besi. Faktor yang menyebabkan terjadinya patahan, karena laju deformasi dan menyangkut asalnya bahan itu terbentuk.

Dalam pengujian bahan besi, kuningan dan baja campuran dengan uji tarik, jika setiap bahan ditarik maka terjadi pemanjangan dari panjang semula dan hal ini akan menyebabkan terjadinya penyusutan lebar dari lebar semula. Ini berarti persentase akibat dari penyusutan lebar akan sebanding dengan persentase dari pemanjangan bahan tersebut. Adanya perbandingan ini dikenal dengan nama angka banding Poisson. Angka banding Poisson untuk masing-masing bahan yang digunakan berbeda satu dengan lainnya, dimana angka banding Poisson untuk bahan besi adalah  $m_{steel} = 0,106 \pm 0,002$ , bahan kuningan adalah  $m_{brass} = 0,104 \pm 0,002$  dan bahan baja campuran  $m_{anneal} = 0,103 \pm 0,005$ . Angka banding Poisson pada bahan besi lebih besar daripada angka banding Poisson pada bahan kuningan dan baja campuran. Hal ini berarti kekenyalan daripada bahan besi lebih besar daripada bahan kuningan dan baja campuran, dan disamping itu juga komposisi terbentuknya atau tersusunnya bahan tersebut juga berbeda dengan dilakukan perlakuan tarik oleh gaya yang disistribusikan kepada bahan juga turut mempengaruhi regangan.

Daerah berlakunya elastisitas sesuai dengan Gambar 3 dalam aplikasinya, perlu dianjurkan harus lebih kecil untuk memberikan tegangan, begitupun dengan daerah plastik dimana daerah mencapai batas elastisitas dan melewati batas elastisitas, karena kalau diberikan tegangan besar pada daerah plastik akan menyebabkan deformasi permanen pada bagian bahan/material yang makin lama makin besar deformasinya sehingga membahayakan bahan tersebut. Akibatnya, kalau bahan ini digunakan dalam konstruksi bangunan atau sistem rekayasa akan mempengaruhi konstruksi bangunan itu sendiri. Untuk menjaga kenyamanan atau keselamatan dalam mengkonstruksikan suatu sistem atau bangunan, maka diperlukan tegangan yang diperkenankan atau tegangan ijin harus berada jauh di bawah titik patahnya, dan dianjurkan tidak boleh melebihi batas elastisitasnya.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Redaksi Jurnal Barekeng yang telah memuat hasil penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Blatt F. J. 1986., *Principles of Physics*, 2<sup>nd</sup> edition. Allyn and Bacon, Inc., Boston.
- Cutnell J. D. and K.W. Johnson, 1995. *Physics* 3<sup>rd</sup> edition. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Frauenfelder P. and P. Huber., 1966. *Introduction to Physics: Mechanics, Hydodynamics, Thermodynamics*, volume . Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Massachusetts.
- Kane J. W. and M.M.Sternheim., 1976. *terjemahan P. Silaban*, 1991., *Fisika*, edisi ke tiga. AIDAB dan ITB, Bandung
- Sarojo, G. 2002., *Fisika Dasar Seri Mekanika*. Salemba Teknika, Jakarta.
- Sears F. W. 1944., *terjemahan P. J. Soedarjana*, 1986., *Mekanika, Panas dan Bunyi*. Binacipta, Bandung.
- Seireg, A. 1969., *Mechanical System Analysis*. International Textbooks Company, Pennsylvania.
- Simon K. R. 1971., *Mechanics*, 3<sup>rd</sup> edition. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Philippines. Halaman 301-312
- Soedjojo, P. 2004., *Fisika Dasar*. Andi Offset, Yogyakarta.