

# DESAIN DAN KALIBRASI SENSOR TORSI SUMBU TUNGGAL UNTUK APLIKASI PENGUJIAN *SOFT MATERIAL* SECARA STATIS

, J. D. Nasution<sup>1,\*</sup>, Zainal Abidin<sup>1</sup>, M. I. Ammarullah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Prabumulih, Km. 32, Inderalaya, 30662, Ogan Ilir, Sumatera Selatan, Indonesia

*Email:* jimmy.d.nasution@gmail.com

## ABSTRAK:

*Sifat-sifat mekanik soft materials dapat diperoleh, baik dari pengujian statik (uji tarik, kompresi, dan uji lentur) maupun dari pengujian. Pengujian dinamis bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fatigue dan endurance dari material uji. Kompleksitas dalam sebuah pengujian dinamik disebabkan mode pembebanan yang bersifat multi-aksial dan dinamik. Untuk keperluan pengujian fatigue akibat beban torsi dinamik diperlukan sebuah sensor atau transduser gaya atau torsi yang dapat mengkonversikan sinyal elektrik masukan menjadi sinyal elektrik keluaran yang memiliki frekuensi atau tegangan yang sebanding besarnya dengan gaya atau torsi dinamik yang diterimanya. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan implementasi desain dan pengembangan sebuah sensor torsi (secara mekanikal dan elektrik) yang dapat diterapkan pada universal testing machine untuk pengujian dinamik soft materials. Hasil dari penelitian adalah sebuah implementasi desain berupa prototipe sensor torsi tipe reaksi yang dapat digunakan untuk pengujian statik dan dinamik dari soft material dengan beban torsi statik maksimum  $\pm 5$  N.m dan beban torsi dinamik maksimum  $\pm 3,5$  N.m.*

*Kata Kunci:* Sensor torsi, pengujian dinamik, fatigue, soft materials, prototipe, desain

## 1. PENDAHULUAN

Sifat-sifat mekanik *soft materials* dapat diperoleh, baik dari pengujian statik (uji tarik, kompresi, dan uji lentur) maupun dari pengujian dinamis [1,5,6,9]. Pengujian dinamis bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat *dinamik* dan *endurance* dari material uji [2,3,4]. Kompleksitas dalam sebuah pengujian *dinamik* disebabkan mode pembebanan yang bersifat multi-aksial dan *dinamik* [7,8]. Untuk keperluan pengujian *dinamik* akibat beban torsi dinamik diperlukan sebuah sensor atau transduser gaya atau torsi yang dapat mengkonversikan sinyal masukan elektrik menjadi sinyal keluaran elektrik yang memiliki frekuensi atau tegangan yang sebanding besarnya dengan gaya atau torsi dinamik yang diterimanya. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan implementasi desain (secara mekanikal dan elektrik)

dan pengembangan sebuah sensor torsi yang dapat diterapkan pada *universal testing machine* untuk pengujian *dinamik* dari material lunak (*soft materials*).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### Proses Desain

Keutamaannya berupa kontribusi di bidang iptek dan teknologi terapan dengan menghadirkan sebuah prototipe sensor torsi yang *low cost (novel design)* dan dapat diterapkan pada *universal testing machine* dalam skema pengujian statik dari *soft materials* atau *biomaterials*.

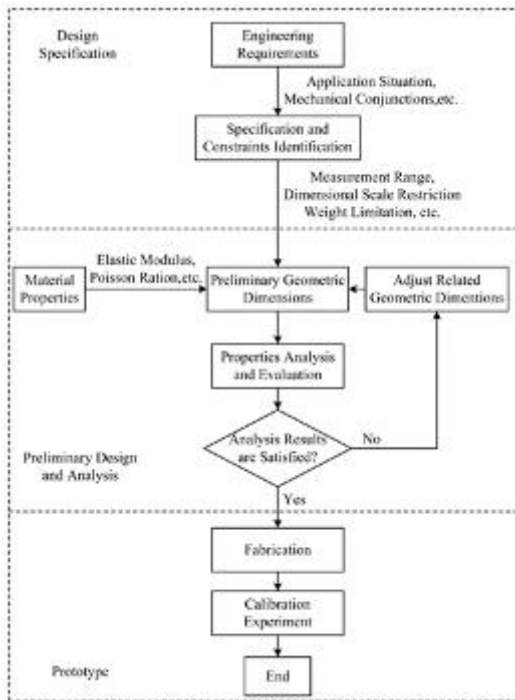
Secara garis besar, proses desain dibagi menjadi tiga bagian utama (yang merupakan tahapan proses penelitian ini), yaitu :

Pentuan spesifikasi desain (*designspecification*).

Desain awal dan analisis (*preliminary design and analysis*).

Pembuatan prototipe beserta pengujian atau kalibrasi sensor.

Proses desain secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1. Dari gambar tersebut, penelitian dibagi menjadi tiga tahapan utama dengan penjelasan masing-masing diberikan secara berurutan pada paragraf dibawah ini.



**Gambar 1.** Diagram alir proses penelitian

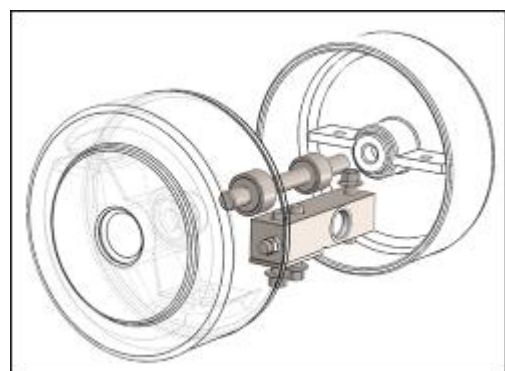
Tahap pertama adalah penentuan spesifikasi desain (*design specification*) yang merupakan proses penentuan persyaratan (*engineering requirements*) dan batasan-batasan (*design constraints*) dalam desain sehingga dari tahap ini akan diperoleh keluaran berupa penentuan spesifikasi desain dari sensor torsi, terutama detail pada desain mekanikal-nya. Penjelasan mengenai proses-proses yang terjadi dalam tahap pertama ini akan diberikan dalam subbab selanjutnya.

Tahap kedua adalah desain awal dan analisis (*preliminary design and analysis*) yang merupakan tahap pemodelan secara analitis (dengan pendekatan matematis) dari model dinamik sensor torsi. Selanjutnya, proses pemodelan secara 2D dan 3D dari komponen mekanikal sensor torsi berdasarkan spesifikasi yang diperoleh dari tahap I. Pemodelan 3D ini dilakukan dengan bantuan program *computer aided-design* (CAD) sehingga dari tahap ini diperoleh model 3D dengan mendetail dari desain mekanikal sensor torsi. Selain itu, desain yang berbentuk model 3D tersebut divalidasi dan dioptimasi berdasarkan hasil analisis berbasis metode elemen hingga / *finite element method* (FEM) yang dibantu oleh program FEA CosmosWorks. Penjelasan mengenai proses-proses yang terjadi dalam tahap kedua ini akan diberikan dalam subbab selanjutnya.

Tahap ketiga adalah pembuatan prototipe beserta pengujian atau kalibrasi sensor, yang merupakan proses implementasi desain ke dalam bentuk sebuah prototipe sensor torsi. Untuk mengetahui karakteristik kinerja beserta spesifikasi teknis prototipe sensor tersebut maka dilakukan serangkaian pengujian dan kalibrasi sesuai dengan standar internasional.

**Parameter Desain Sensor**

Sebagai tahap pertama dari proses desain, keluaran dari tahap ini merupakan persyaratan (*engineering requirements*) dan batasan-batasan (*design constraints*) yang menjadi rujukan dalam mendesain sensor torsi beserta komponen mekanikalnya. Parameter desain dan batasan-batasannya yang menjadi rujukan awal dalam mendesain komponen mekanikal dari sensor torsi dapat dilihat pada tabel berikut ini. Data teknis dari *load cell* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Data teknis dari *load cell*

**Tabel 1.** Parameter desain dan batasan

No.	Nama Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
1.	Torsi Statik Maksimum	$\pm 5.000$	Nm	-
2.	Tebal (Tinggi) Maksimum	$\leq 10$	mm	-
3.	Lebar (Diameter) Maksimum	$\leq 90$	mm	-
4.	Jumlah <i>load cell</i>	2	Buah	-
5.	Jumlah Hub	2	Buah	<i>Upper dan Lower</i>
6.	Bobot Maksimum	$\leq 100$	gram	-

**Implementasi Prototipe**

Untuk implementasi prototipe sensor torsi diperlukan berbagai jenis material yang terdiri dari komponen mekanikal dan elektrik. Terutama dalam desain

mekanikal, material untuk pembuatan prototipe yang digunakan secara umum terdiri dari

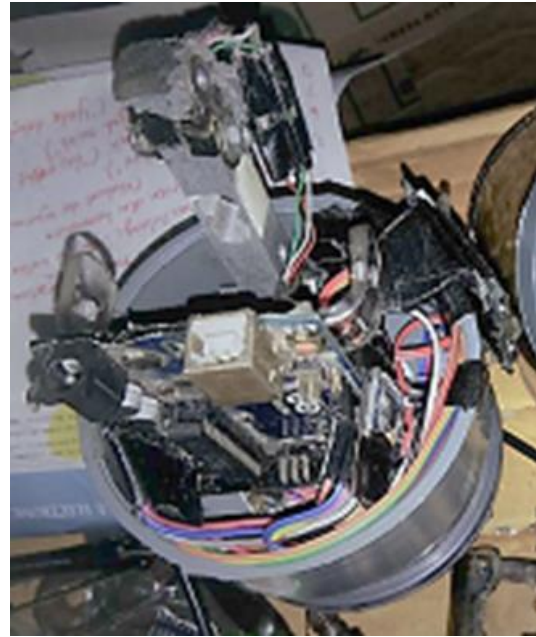
1. Rumah sensor (*housing*) yang terbuat dari metal, terdiri dari bagian atas (*upper*) dan bagian bawah (*lower*).
2. Poros sensor (*shaft*) yang ditumpu oleh dua bantalan gelinding (*ball bearing*).
3. Rangka (*frame*) atau *chassis* sensor yang terbuat dari metal, yang berfungsi sebagai tempat pemasangan rumah bantalan penumpu poros dan *load cell*.



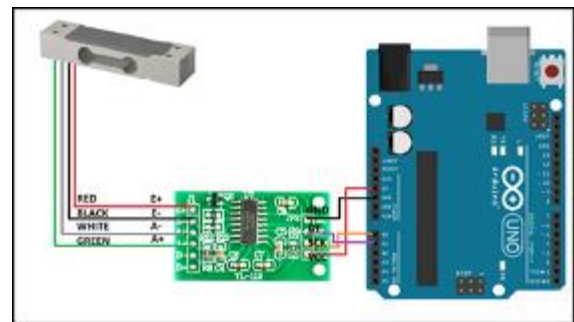
**Gambar 3.** Konstruksi *load cell*.

Selain komponen mekanikal diatas, *load cell* dengan tipe ini merupakan tipe balok lentur atau *bending beams* dengan konstruksi yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Modus pembebanan pada *load cell* tipe ini direkomendasikan seperti pada Gambar 3.3b. Pada lokasi tertentu pada permukaan balok *load cell* tersebut ditempelkan empat buah *strain gage* (Gambar 3.3c) yang dirangkai membentuk jembatan utuh atau *full bridge* (Gambar 3d).

Selanjutnya, bagian atau sub-sistem yang penting dari sebuah proses pengukuran torsi adalah sistem instrumentasi. Sistem ini juga berperan dalam akuisisi data dan *data logging* ketika proses pengukuran torsi dilakukan, baik pada saat kalibrasi maupun pada saat diterapkan dalam suatu pengujian. Implementasi sistem instrumentasi ini diperoleh dengan cara mengintegrasikan berbagai komponen atau modul elektrikal (beserta aksesoris pendukung) dengan sebuah modul mikrokontroler Arduino. Selain itu, algoritma program dalam bentuk kode Arduino dikompilasi agar sistem ini dapat berkerja. Antarmuka untuk terjalannya komunikasi data antar bagian mekanikal dan elektrikal dari sensor torsi beserta instrumentasi ini dapat dilihat pada skema atau diagram blok yang terdapat di dalam Gambar 4.



(a)



(b)

**Gambar 4.** Integrasi sistem pada sensor. (a) Sistem elektrikal dalam komponen mekanikal. (b) Skema dasar sensor berbasis *load cell*.



**Gambar 5.** Integrasi sistem pada prototipe sensor torsi.

#### Sistem Akuisisi Data

Dengan memanfaatkan konektivitas PC melalui port USB (*universal serial bus*) pada mikrokontroler Arduino, pengolahan dan analisis data akhir dari pengujian atau

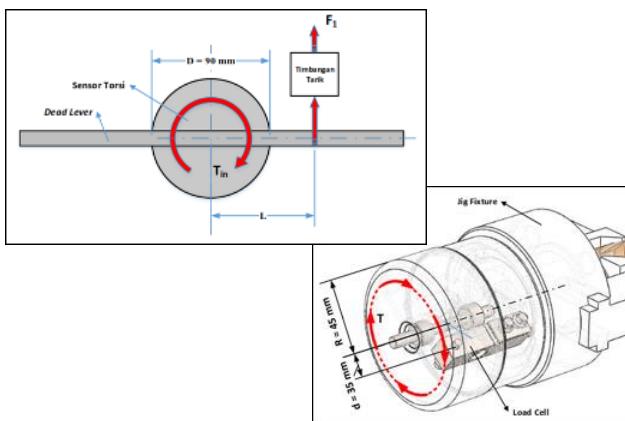
kalibrasi sensor torsi dapat dilakukan dengan bantuan program komputer, seperti Microsoft Excel. Pembuatan atau plot beberapa kurva atau grafik secara *real-time* selama pengukuran torsi lebih mudah dilakukan dengan bantuan program MATLAB. Untuk itu, penelitian ini telah merancang sebuah diagram alir, pada Gambar 6, yang merupakan algoritma pemrograman dengan kode dalam modul Arduino dan program MATLAB.



**Gambar 6.** Algoritma rutin pada Arduino dan MATLAB

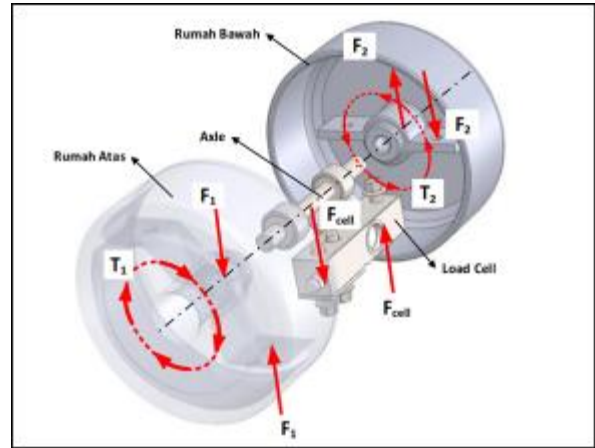
**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Untuk mengetahui apakah sensor torsi telah berfungsi sesuai tujuan desain-nya, proses pengujian yang perlu dilakukan sebelum kalibrasi adalah validasi sensor. Prinsip kerja pengujian validasi sensor ini dengan memberikan beban torsi (torsi masuk) pada sensor dengan besaran yang diketahui nilainya dan membandingkan besaran tersebut dengan hasil pembacaan sensor. Cara kerja validasi sensor dapat dilihat pada gambar 7.



**Gambar 7.** Validasi sensor dengan torsi yang berlawanan arah jarum jam.

Pada prototipe sensor torsi, *load cell* dipasangkan pada rumah atas dan bawah dengan jarak *d* sejauh 35 mm dari sumbu sensor, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7 (inset). Secara statis terjadi kesetimbangan resultan momen atau torsi pada setiap komponen mekanikal dari sensor torsi, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.



**Gambar 8.** Momen dan gaya reaksi pada tiap komponen sensor

Hasil kalibrasi sensor, yaitu uji *non-linearity* (ketidaklinieran) dan *reproducibility*, setelah validasi program dilakukan dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

**Tabel 2.** Ketidak-linieran dari sensor torsi (searah jarum jam)

Torsi Input (Nm)	Torsi Output (Nm)			
	0°	90°	180°	270°
0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	39,86	39,84	39,85	39,86
80	79,70	79,70	79,71	79,71
120	119,63	119,63	119,65	119,65
160	159,44	159,44	159,46	159,46
200	199,35	199,37	199,36	199,36

Torsi Input (Nm)	Torsi Output (Nm)		Non-Linearity (%)
	Rata-rata	Curve fit	
0	0,0	0,0	0,0
40	39,86	39,85	0,0125
80	79,70	79,72	-0,0220
120	119,68	119,60	0,0272
160	159,45	159,47	-0,0157
200	199,36	199,35	0,0038

**Tabel 3.** Reproducibility dari sensor torsi (searah jarum jam)

Torsi Input (Nm)	Torsi Output (Nm)			
	0°	90°	180°	270°
0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	39,86	39,84	39,85	39,87
80	79,70	79,70	79,70	79,71
120	119,63	119,63	119,62	119,63
160	159,44	159,44	159,46	159,45
200	199,35	199,37	199,35	199,36

Torsi Input (Nm)	Torsi Output (Nm)	Reproducibility (%)
	Rata-rata	
0	0,0	0,0
40	39,86	0,0753
80	79,70	0,0125
120	119,63	0,0251
160	159,45	0,0125
200	199,36	0,0100

## 5. SIMPULAN

Nilai maksimum persentase ketidak-linieran (*non-linearity*) dari sensor torsi terjadi pada torsi input 120 N.m dengan arah searah jarum jam (*clock-wise*) untuk posisi 0°, 90°, 180°, dan 270°, yaitu sebesar 0,0272%. Nilai maksimum persentase ketidak-linieran (*non-linearity*) dari sensor torsi terjadi pada torsi input sebesar 120 N.m dengan arah berlawanan arah jarum jam (*counter clock-wise*) untuk posisi 0°, 90°, 180°, dan 270°, yaitu sebesar 0,0272%. Nilai *reproducibility* dari sensor torsi bernilai maksimum pada saat sensor torsi menerima torsi input sebesar 20 N.m dengan arah searah jarum jam (*clock-wise*) untuk keempat posisi *mounting* tersebut, yaitu sebesar 0,0753% dan dengan arah berlawanan arah jarum jam (*counter clock-wise*) untuk keempat posisi *mounting* tersebut, yaitu sebesar 0,0753%.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] ASTM E2624-15, "Standard Practice for Torque Calibration of Testing Machines, ASTM International", West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org, DOI: 10.1520/E2624-15.
- [2] ASTM E2428-15a, "Standard Practice for Calibration and Verification of Torque Transducers", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org, DOI: 10.1520/E2428-15A.
- [3] Carter, D. R., W. E. Caler, D. M. Spengler, and V. H. Frankel. Fatigue behavior of adult cortical bone: the influence of mean strain and strain range. *Acta Orthop.* 52:481–490, 1981.

- [4] Dendorfer, S., H. J. Maier, D. Taylor, and J. Hammer. Anisotropy of the fatigue behaviour of cancellous bone. *J. Biomech.* 41:636–641, 2008.
- [5] Haddock, S. M., O. C. Yeh, P. V. Mummaneni, W. S. Rosenberg, and T. M. Keaveny. Similarity in the fatigue behavior of trabecular bone across site and species. *J. Biomech.* 37:181–187, 2004.
- [6] Moore, T. L., and L. J. Gibson. Fatigue of bovine trabecular bone. *J. Biomech. Eng.* 125:761–768, 2003.
- [7] Pattin, C. A., W. E. Caler, and D. R. Carter. Cyclic mechanical property degradation during fatigue loading of cortical bone. *J. Biomech.* 29:69–79, 1996.
- [8] Peterson, D. L., J. S. Skraba, J. M. Moran, and A. S. Greenwald. Fracture of long bones: rate effects under singular and combined loading states. *J. Orthop. Res.* 1:244–250, 1984.
- [9] Stone, J. L., G. S. Beaupre, and W. C. Hayes. Multiaxial strength characteristics of trabecular bone. *J. Biomech.* 16:743–752, 1983.

