

# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UJI DEFLEKSI PEGAS SPIRAL

Hendrikus, Daswarman, Martias

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Otomotif FT UNP

Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang 25131 INDONESIA

[d\\_gembelz@rocketmail.com](mailto:d_gembelz@rocketmail.com)

**Intisari**— Pengujian defleksi pegas merupakan pengujian perubahan panjang pegas saat diberi beban tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat dan menguji alat uji defleksi pegas spiral. Pada proses pembuatan rancangan diperlukan penghitungan jumlah, fungsi dan jenis bahan yang akan digunakan, dan pada proses pembuatan diperlukan ketelitian serta kehati-hatian saat menggunakan mesin-mesin seperti mesin potong, mesin bor dan las listrik. Pada saat pengujian diperoleh hasil dimana defleksi pegas saat pengujian mengalami perbedaan sekitar 1% terhadap hasil pengujian teoritis.

**Kata kunci:** Perancangan, Perencanaan, Pegas, Defleksi.

**Abstract**— Testing deflection of the spring is the spring length changes of testing when given a certain load. This study aims to design, build and test a spiral spring deflection test equipment. In the design process of counting the number required, the function and types of materials to be used, and the process of making the necessary thoroughness and caution when using machines like cutting machines, drilling machines and electric welding. At the time of the test results obtained during testing where the deflection of the spring having a difference of about 1% of the theoretical test results.

**Key words:** Designing, Planning, Spring, Deflection..

## I. Pendahuluan

Memasuki era global yang serba praktis, perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) sangat pesat. Perkembangan ini berdampak juga pada perkembangan teknologi otomotif. Invasi dibidang transportasi saat ini semakin memajukan pemakainya dan hal ini menuntut produsen untuk menemukan terobosan terbaru untuk dapat memenuhi tuntutan konsumen.

Suspensi merupakan salah satu komponen dari kendaraan yang harus diperhatikan oleh produsen saat ini untuk menarik minat konsumen. Sistem suspensi terdiri dari berfungsi untuk memindahkan gaya pengereman dan gaya gerak ke bodi melalui gesekan antara jalan dengan roda. Selama berjalan, kendaraan secara bersama-sama dengan roda, menyerap getaran, oskilasi dan kejutan dari permukaan jalan, hal ini untuk melindungi penumpang dan barang agar aman, serta menambah kenyamanan dan stabilitas kendaraan

Salah satu komponen dari sistem suspensi adalah pegas. Menurut Prof. G. Chakraborty “ Spring is an elastic object used to store mechanical energy. Spring are elastic bodies that can be twisted, pulled, or stretched by some force. They can return to their original shape when the force is released”. Maksudnya pegas merupakan suatu benda yang bersifat elastis, bentuknya akan berubah bila diberikan beban dan akan kembali ke bentuk semula jika beban itu dilepaskan. Ada 4 macam pegas yaitu: pegas daun(leaf spring), pegas spiral(coil spring), pegas batang torsi(torsion bar spring), pegas karet udara(hydropneumatic).

Pegas adalah inti dari sistem suspensi karena pegas disamping berfungsi untuk menggantungkan roda-roda pada rangka, juga berfungsi menyerap dan meredam getaran yang terjadi pada kendaraan saat berjalan. Seiring perkembangan teknologi, trend kendaraan pun semakin memajukan pemakainya. Untuk meningkatkan kenyamanan dan efisiensi dari berbagai aspek, hampir semua mobil tipe minibus dengan bobot sedang-ringan mulai mengganti sistem suspensi nya dari tipe pegas daun menjadi pegas spiral(coil spring).

Dalam kehidupan sehari-hari masalah yang ditimbulkan oleh pegas spiral(coil spring) memang jarang ditemui oleh pemilik kendaraan, tapi jika dibiarkan hal ini bisa jadi permasalahan yang fatal. Pemberian beban yang bervariasi, kondisi jalan yang tidak rata dan usia pegas sangat mempengaruhi kondisi pegas. Kondisi dari pegas harus diperhatikan, apalagi disaat akan berpergian jauh. Karena selain proses perbaikan yang tidak bisa dilakukan sendiri oleh pengemudi tanpa alat dan ketrampilan, belum tentu juga daerah yang dilintasi mempunyai bengkel mobil dengan peralatan yang memadai

Dalam proses pembuatan pegas spiral(coil spring), kekuatan pegas dapat diukur dari seberapa besar defleksi yang dihasilkan jika diberi beban tertentu. Minimnya penelitian mengenai defleksi pegas spiral merupakan hal yang harus diperhatikan terutama bagi pelajar dibidang otomotif karena hal ini perlu untuk menambah pemahaman tentang pegas spiral itu sendiri, disamping itu alat uji mengenai pengukuran

defleksi pegas spiral haruslah ada agar pemberian materi mengenai pegas spiral dan defleksi bisa disampaikan secara teori dan praktek.

## II. Teori Dasar

### A. Kajian Teoritis

Sistem suspensi terletak diantara body kendaraan dan roda-roda dan dirancang untuk menyerap kejutan dari permukaan jalan, sehingga menambah kenyamanan dan stabilitas kendaraan serta memperbaiki kemampuan cengkram roda terhadap jalan. Suspensi menghubungkan body dengan roda-roda dan berfungsi sebagai berikut:

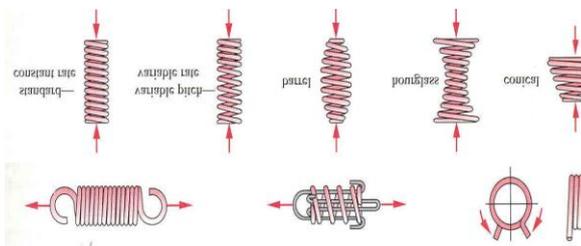
- Selama berjalan, kendaraan secara bersama-sama dengan roda menyerap getaran, oskilasi dan kejutan dari permukaan jalan, hal ini untuk melingungi penumpang dan barang agar aman dan menambah kenyamanan serta stabilitas.
- Memindahkan gaya pengereman dan gaya gerak ke body melalui gesekan antara jalan dengan roda-roda.
- Menopang body pada axle dan memelihara letak geometris antara body dan roda-roda.

Pegas adalah elemen mesin flexible yang digunakan untuk memberikan gaya, torsi, dan juga untuk menyimpan atau melepaskan energi. Sifat pegas yang terpenting ialah kemampuannya menerima kerja lewat perubahan bentuk elastis dan ketika mengendur, menyerahkan kembali kerja tersebut". Pegas umumnya beroperasi dengan high working stresses dan beban yang bervariasi secara terus menerus.

Pegas diterapkan dalam berbagai bentuk dan konstruksi. Salah satunya digunakan dalam sistem suspensi kendaraan. Pegas digunakan dalam sistem suspensi sebagai peredam kejut atau getaran yang terjadi pada saat kendaraan melaju.

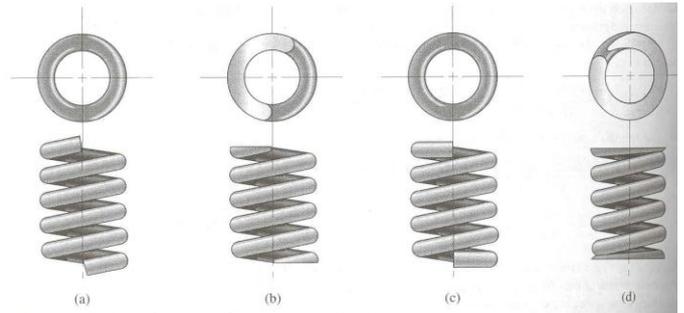
Klasifikasi berdasarkan bentuk fisik.

- Wire form spring (helical compression, helical tension, helical torsion, custom form).
- Spring washers (curved, wave, finger, belleville).
- Flat spring (cantilever, simply supported beam).
- Flat wound spring (motor spring, volute, constant force spring).



Gambar 1. Macam Bentuk Pegas

ada 4 tipe ujung pegas tekan yang biasa digunakan seperti terlihat pada gambar 2. Ujung plain dihasilkan dengan memotong kawat dan membiarkannya memiliki pitch yang sama dengan keseluruhan pegas. Tipe ini paling murah tapi alignment-nya sangat sulit. Tipe plain grown adalah ujung plain yang digerinda sampai permukaan ujung pegas tegak lurus terhadap sumbu pegas. Hal ini akan memudahkan aplikasi beban pada pegas. Ujung pegas dengan tipe squared didapat dengan mengubah sudut lilitan menjadi 90°. Tipe ini memerlukan biaya paling mahal, tapi ini adalah bentuk yang direkomendasikan untuk komponen mesin kecuali diameter kawat sangat kecil (< 0,02 in atau < 0,5 mm)



Gambar 2. Empat tipe ujung pegas: (a) plain, (b) Plain and ground, (c) squared, (d) squared and ground

Material pegas yang ideal adalah material yang memiliki kekuatan ultimate yang tinggi, kekuatan yield yang tinggi, dan modulus elastisitas atau modulus geser yang rendah untuk menyediakan kemampuan penyimpanan energi yang maksimum. Parameter loss coefficient,  $\Delta v$  yang menyatakan fraksi energi yang didisipasikan pada siklus stress-strain juga merupakan faktor penting dalam pemilihan material. Material pegas yang baik haruslah memiliki sifat loss coefficient yang rendah

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah "y" akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada suatu benda. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Hubungan kekuatan defleksi cukup mudah didapat dengan menggunakan teori Castigliano.

$$U = (T^2 l) / 2GJ$$

Dengan memasukkan

$$T = FD/2, l = \pi DN, \text{ dan}$$

$$J = \pi D^4 / 32 \text{ menjadi}$$

$$U = (4F^2 D^3 N) / (d^4 G)$$

Maka defleksi adalah

$$y = \partial U / \partial F = (8FD^3 N) / (d^4 G)$$

Dimana :

y = defleksi

U = energi regangan

D = diameter pegas

F = beban aksial (tarik atau tekan)

N = jumlah gulungan aktif

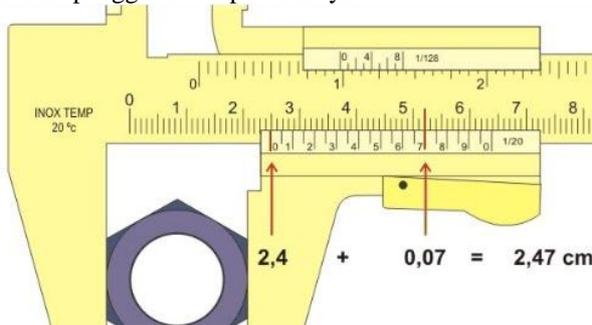
G = Modulus gelincir (8.104Kg/mm<sup>2</sup>)

## B. Teori Perencanaan

Perancangan alat uji defleksi pegas meliputi beberapa komponen sebagai berikut:

### a. Jangka sorong

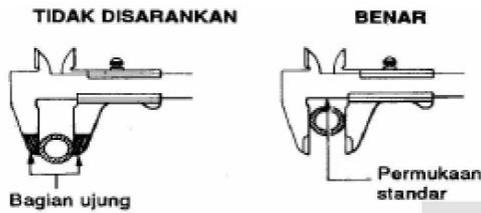
Jangka sorong adalah alat ukur yang ketelitiannya dapat mencapai seperseratus millimeter. Terdiri dari dua bagian, bagian diam dan bergerak. Pembacaan hasil pengukuran sangat bergantung pada keahlian dan ketelitian pengguna maupun alatnya.



Gambar 3. Cara pengukuran jangka sorong

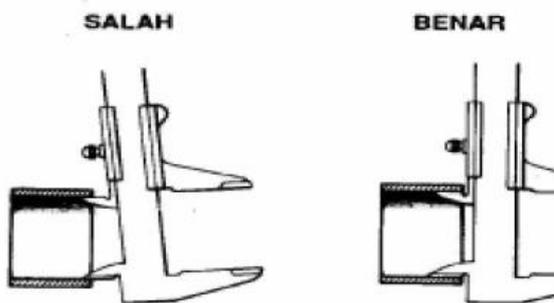
Kegunaan jangka sorong adalah:

1. Untuk mengukur suatu benda dari luar dengan cara diadip



Gambar 4. Pengukuran luar dengan jangka sorong

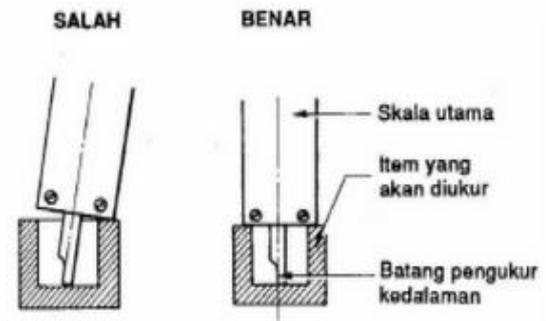
2. Untuk mengukur sisi dalam suatu benda yang biasanya berupa lubang(pada pipa, maupun lainnya) dengan cara diukur.



Gambar 5. Pengukuran dalam jangka sorong

3. Untuk mengukur kedalaman celah/lubang pada suatu benda dengan cara

“menancapkan/menusukkan” bagian pengukur ke dasar benda yang akan diukur.



Gambar 6. Pengukuran kedalaman dengan jangka sorong

Sambungan ulir termasuk sambungan yang tidak tetap, yaitu sambungan yang dapat dibuka kembali tanpa merusak ulir dan rangkaiannya, sambungan ulir dapat dipasang dan dilepaskan kembali sehingga dapat dipastikan selalu terdapat dalam konstruksi mesin. Sambungan ulir disebut juga sambungan sekrup dimana terdiri dari dua elemen utama yaitu baut dan mur. Sambungan ulir sangat menunjang kegiatan perawatan, perbaikan, penggantian, pemeriksaan dan perakitan mesin.

Keuntungan sambungan ulir adalah:

1. Dapat diandalkan kerjanya
2. Mudah dipasang dan dilepas
3. berbagai ukuran ulir dapat digunakan pada macam-macam kondisi kerja
4. ulir atau sekrup relative mudah diproduksi karena standarisasi dan pembuatan yang efisien

Kerugian sambungan ulir adalah terjadinya konsentrasi tegangan pada ulir akibat bentuk ulir dan pembebanan yang berubah ubah

## C. Pemilihan Bahan

Pemilihan material adalah salah satu factor yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin”. Beberapa persyaratan yang harus selalu dipelajari ketika memilih suatu material untuk membuat komponen tertentu atau membeli komponen dan pilihan akhir biasanya melibatkan beberapa pertimbangan diantaranya:

- a. Persyaratan pelayanan adalah beberapa hal yang harus dipenuhi oleh material agar sesuai dengan kebutuhan, contohnya dalam hal kekuatan, kekerasan, elastisitas, kekakuan dll.
- b. Persyaratan pabrikasi adalah beberapa hal yang harus diperhatikan dan dipertimbangkan dalam memilih material dan bahan yang dipakai agar sesuai dengan sifat-sifat yang diperlukan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

- c. Persyaratan ekonomi adalah beberapa hal yang harus diperhitungkan seputar masalah biaya yang komponen yang harus mencakup biaya bahan baku, biaya mesin, biaya manipulasi dan biaya “finishing”nya.

#### D. Proses Pengerjaan

Dalam proses pengerjaan nantinya di perlukan beberapa aktivitas yang diperlukan untuk membuat alat uji pegas spiral, antara lain :

- a. Pengelasan dengan menggunakan las listrik

Las listrik adalah suatu cara pengelasan yang menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panasnya. Panas dari sumber tenaga listrik yang digunakan untuk mencairkan logam induk maupun logam las tergantung pada besarnya arus listrik yang digunakan. Kuat arus yang dipakai disesuaikan dengan tabel logam dan elektroda. Pada tabel 1 dapat dilihat hubungan antara bahan yang akan dilas dengan elektroda arus yang dipakai

**Tabel 1.** Pemilihan Arus Listrik

Tebal Bahan (mm)	Diameter Elektroda (mm)	Kuat Arus (A)
<1	1,5	20-30
1-1,5	2	35-60
1,5-2,6	2,6	60-100
2,5-4,0	3,2	100-120
4,0-6,0	4	120-180
6,0-10	5	180-220
10-16	6	220-300
>16	8	300-400

Untuk mendapatkan hasil pengetahuan yang baik hal penting yang harus diperhatikan adalah kesesuaian antara jenis dan tebal bahan, jenis dan diameter elektroda. Posisi pengelasan dan besarnya arus yang digunakan untuk memilih elektroda yang akan digunakan perlu diketahui dari elektroda tersebut. Sebagai contoh dapat diambil beberapa elektroda yang telah dinormalisasi berdasarkan American Welding Society (AWS) dan American For Testing Material (ASTM) yang menggunakan simbol (E) untuk elektroda las busur nyala duukuti empat atau lima angka dibelakangnya, sebagai contoh:

E – xxxx

E = Elektroda untuk las busur listrik

xx = dua angka pertama menunjukkan tegangan dari kawat las

x = angka ke tiga menunjukkan posisi pengelasan, dimana:

angka 1 untuk segala posisi

angka 2 untuk posisi horizontal dan

angka 3 untuk posisi vertikal

x = angka keempat menunjukkan karakteristik pemakaian, misalnya jenis selaput elektroda atau menunjukkan dapat dipakai dengan mesin las AC atau mesin las DC

- b. Pengeboran

Mesin bor berfungsi untuk membuat lubang. Dalam pengeboran ini dapat dilakukan untuk pembuatan silinder bertingkat, men chamfer lubang, dan mengetap. Untuk pengeboran yang lebih besar, lubang bor harus dibuat dengan menggunakan bor yang lebih kecil terlebih dahulu.

Dalam proses pembuatan alat uji defleksi pegas spiral ada beberapa komponen yang akan disambung dengan komponen lain seperti rangka.

**Tabel 2.** Harga kecepatan potong bor

Bahan	Kecepatan Potong (m/menit)
Aluminium campuran	60-100
Kuningan campuran	30-100
Perunggu tegangan tinggi	25-30
Besi tuang lunak	30-50
Besi tuang menengah	25-30
Besi tuang rendah	10-20
Tembaga	20-30
Baja karbon rendah	30-50
Baja karbon sedang	20-30
Baja karbon tinggi	15-20
Baja perkakas	10-30
Baja campuran	15-25

**Tabel 3.** Besarnya pemakanan berdasarkan diameter mata bor

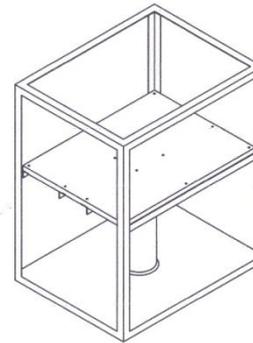
Bahan	Besarnya pemakanan dalam satu kali putaran (mm)
-3	0,025 – 0,050
3-6	0,050 – 0,100
6-12	0,100 – 0,175
12-25	0,175 – 0,375
24 – dan seterusnya	0,375-0,675

### III. Perancangan dan Pembuatan

#### A. Perancangan

##### 1. Alas Beban

Perancangan alas beban pada alat uji defleksi pegas berfungsi sebagai tempat diletakkannya beban saat proses pengujian defleksi. Alas beban dibuat dengan bahan besi kotak 2x2cm dengan ketebalan 2mm yang disusun berbentuk teralis yang kemudian dilapisi dengan plat baja 1mm. Untuk memperkuat dan memperkokoh alas beban, maka di pasang 4 buah baja siku di bagian bawah alas. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan lendutan atau defleksi yang dialami alas beban jika diberi beban tertentu.



Gambar 6. Rancangan Alat Uji Defleksi Pegas Spiral

## 2. Rangka Alat

Penulis berancang rangka yang berbentuk kotak balok persegi empat yang berukuran 900x700x1100mm. rangka terbuat dari baja siku(40x40x3), memiliki kekuatan tarik sebesar 37 kg/mm<sup>2</sup>. Setelah itu penulis menganalisis rangka yang telah dibuat, yaitu menghitung reaksi tumpuan, momen tahanan penampang dan gaya geser yang terjadi pada rangka. Sedangkan beban yang bekerja pada rangka ditiadakan.

## 3. Ulir

Untuk penghitungan perencanaan ulir disesuaikan dengan tegangan perlawanan yang bekerja pada ulir sehingga ulir tersebut mampu mengikat komponen komponen alat uji defleksi pegas spiral. Pada perencanaan ulir ini, penulis hanya merencanakan ulir pengikat rangka dimana ulir ini bekerja menahan rangka dan tidak begitu rawan terhadap kerusakan, dapat dikatakan ulir ini berfungsi membentuk rangka alat uji.

## B. Pembuatan

### 1. Proses Pembuatan

Pembuatan alat uji defleksi pegas spiral dilaksanakan di Workshop Otomotif Jurusan Teknik Universitas Negeri Padang dan di Komplek Parupuk Rafa F/1 Padang. Pada proses pembuatan penulis pada awalnya melakukan pembuatan rangka awal di kediaman peneliti sendiri dan melakukan proses perbaikan dan penambahan komponen di Workshop Otomotif Fakultas Teknik UNP.

Pembuatan alat uji dimulai dari pengukuran bahan yang akan digunakan sesuai kebutuhan, lalu dilakukan penggarisan bahan yang akan dipotong kemudian dilanjutkan dengan pemotongan bahan-bahan yang akan dipakai dan kemudian dilakukan perakitan bahan hingga alat uji berbentuk seperti pada gambar 6.

## 2. Proses Pemakaian dan Perawatan

### a. Cara Pemakaian alat uji pegas spiral:

- Periksa keadaan keseluruhan alat uji
- Pastikan tidak ada bagian rangka yang lepas atau rusak
- Letakkan bahan uji, dalam hal ini pegas spiral kedalam tabung yang telah disediakan.
- Tutup tabung dan letakkan alas beban di atasnya.
- Lakukan kalibraasi pada jangka sorong sehingga benar benar pada posisi 0mm.
- Lakukan pemberian beban sesuai dengan kebutuhan pengujian.
- Karena beratnya beban yang akan diletakkan, butuh ketelitian dan juga alat yang memadai sehingga beban bisa diletakkan perlahan, dalam hal ini penulis menganjurkan menggunakan katrol.
- Setelah beban diletakkan dan per diam, hitung hasil pengukuran/ defleksi yang terjadi
- Lakukan sesuai berat beban yang akan diuji
- Setelah selesai melakukan pengujian bersihkan alat uji dan simpan dengan rapi ditempat yang aman.

### b. Perawatan

#### 1) Perawatan preventif

Kegiatan perawatan ini dilakukan sejak awal dengan maksud alat yang digunakan terhindar dari kerusakan yang lebih besar pada benda. Kegiatan ini merupakan kegiatan kontiniu yang sifatnya ringan

#### 2) Perawatan korektif

Kegiatan ini merupakan kegiatan untuk meningkatkan kondisi alat dengan cara melakukan penggantian atau memodifikasinya.

#### 3) Perawatan sesudah dipakai

Kegiatan ini dilakukan setiap alat dipakai dimana alat tersebut harus dibersihkan dan jika tidak dibersihkan, maka akan terjadi penempelan zaaat-zat pemicu korosi yang bisa memperpendek umur alat uji.

### C. Keselamatan Kerja

Dalam proses pembuatan alat ini sangat membutuhkan peng-aplikasian ilmu teknik secara teori dan praktek. Pada prinsipnya dalam pembuatan alat uji ini hal terpenting adalah perencanaanya, tetapi dalam proses pembuatan, aspek keselamatan kerja harus diperhatikan.

## IV. Pengujian

### A. Pengujian Alat Uji.

Pengujian alat uji menggunakan pegas depan Toyota Avanza sebagai bahan pengujiannya dengan hasil sebagai berikut:

No	Spesimen	Defleksi pegas (0 <sub>1</sub> -0 <sub>2</sub> )	Panjang Pegas (mm)	Presentasi (%)
1	Sebelum Perlakuan	0	299,98	100
2	Perlakuan I (100Kg)	43,4	258,58	13,8
3	Perlakuan II (200 Kg)	84,1	215,88	28,03
4	Perlakuan III (300 Kg)	127,1	172,88	42,36

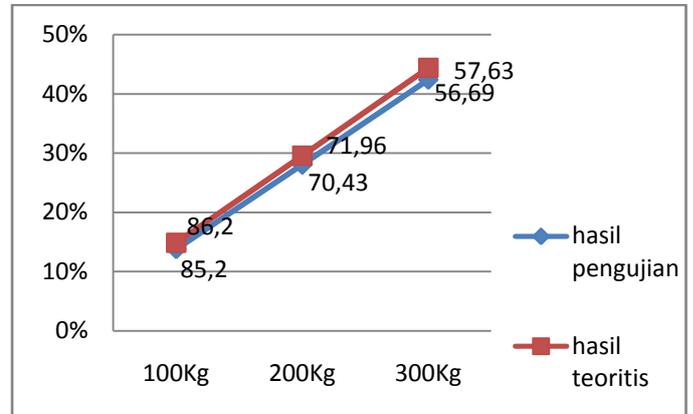
### B. Perbandingan Hasil Uji

Data pengujian dibandingkan dengan penghitungan teoritis dengan rumus defleksi berdasarkan teori Castigliano dengan hasil sebagai berikut

No	Spesimen	Defleksi pegas (0 <sub>1</sub> -0 <sub>2</sub> )	Panjang Pegas (mm)	Persentase (%)
1	Sebelum Perlakuan	0	299,98	100
2	Perlakuan I (100Kg)	44,35	255.35	14,88
3	Perlakuan II (200 Kg)	88,70	211.28	29,57
4	Perlakuan III (300 Kg)	133,05	166.93	44,35

## V. Analisis Data

Setelah data hasil pengujian dan penghitungan teoritis dibandingkan maka didapat hasil perbedaan sekitar 1% seperti rihat pada grafik berikut:



Berdasarkan data hasil pengujian dan penghitungan teoritis diatas didapat perbedaan antara alat uji dan hasil penghitungan sekitar 1%, dimana kesenjangan ini dapat terjadi karena metode pengukuran yang kurang tepat, alat uji yang masih belum valid atau material pegas yang tidak sesuai standar.

Namun dengan kesenjangan sekita 1% alat uji ini dikatakan hampir sempurna dan tinggal melakukan lebih banyak pengujian pada pegas yang berbeda dan melakukan modifikasi sehingga didapat hasil yang lebih akurat.

## VI. Kesimpulan

Berdasarkan data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa Berdasarkan perancangan dan pembuatan alat uji defleksi pegas spiral, maka didapat beberapa kesimpulan yaitu:

1. Alat uji defleksi pegas spiral yang dibuat masih belum sempurna karena masih ada perbedaan sekitar 1% dengan penghitungan teoritis
2. Dalam pengerjaan pembuatan alat uji defleksi pegas spiral, dibutuhkan ketelitian pengukuran sehingga tidak terjadi kesalahan saat perakitan bahan bahan yang sudah dikerjakan.
3. Selama proses pengerjaan dibutuhkan kehati-hatian agar tidak terjadi kecelakaan kerja, dan juga setiap pengerjaan baik itu pemotongan, pengeboran ataupun pengelasan harus sesuai dengan SOP yang ada dan menggunakan alat keselamatan kerja

## REFERENSI

- [1]. Abdul, Rachman dan Hendarsin. (1993). Elemen Mesin. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama
- [2]. Anas Sudijono. (2003). *Pengantar Statistik Pendidikan*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- [3]. Bagus, Budiwantoro(2010). *Diktat Elemen Mesin 2*. Bandung: Institut Teknik Bandung
- [4]. Budynas dan Nisbett. (2006). *Mechanical Engineering*. United States of America: Mc-Graw-Hill International Book Company
- [5]. Bhandari, V.B. (1994). *Design of Machine Elements*. India: Tata McGraw-Hill International Book Company.
- [6]. Chakraborty, G. *Design of Machine Elements*. India: IIT Kharagpur, (<http://nptel.ac.in/courses.php?disciplineid=112>), download tanggal 23 Juli 2014.
- [7]. Daswarman.(2012). *Material Teknik Pemilihan Bahan*. Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
- [8]. Kenyon, W. (1985). *Dasar-Dasar Pengelasan*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- [9]. Masrul, Minsani(1999).*Teknologi Produksi permesinan I*. IKIP Padang
- [10]. Shigley, Joseph Edward dan Larry D. Mitchell (1996). *Mechanical Engineering Design*. United States of America: McGraw-Hill International Book Company
- [11]. Shigley, Joseph Edward dan Larry D. Mitchell (1994). *Perencanaan Teknik Mesin*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- [12]. Spotts, M. F. (1981). *Design of Machine Elements* : Third Edition. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited
- [13]. Suarman, Makhzu. (1992). *Teknologi Dasar Kerja Mesin dan Pengepasan*, Pusat.
- [14]. Sugiyono.(2010). *Metode Penelitian Kuantitatif kualitatif dan R & D*. Bandung: Alfabeta.
- [15]. Suharsimi Arikunto. (2006). *Prosedur Penelitian*. Jakarta: PT Asdi Mahasatya.
- [16]. Tim penyusun. (2009). *Buku Panduan Penulisan Tugas Akhir/Skripsi Universitas Negeri Padang*. Padang: Depdiknas UNP.