

BAB II DASAR TEORI

2.1 Pengujian Menggunakan Tegangan Tinggi

Mengingat besarnya investasi yang ditanam dalam membangun suatu sistem tenaga listrik, perlu dipikirkan cara mengamankan dan mendayagunakan sistem tersebut agar investasi segera kembali dan memberi keuntungan yang sebesar-besarnya. Penjualan energi yang kontinu adalah salah satu cara untuk mencapai hal tersebut. Kontinuitas penyaluran energi listrik tergantung kepada keandalan sistem setiap komponen sistem. Karena itu, setiap komponen sistem tenaga listrik harus memiliki keandalan yang tinggi. Jaminan akan hal ini diperoleh dengan melakukan pengujian terhadap komponen-komponen sistem sebelum maupun sesudah terpasang. Salah satu di antara pengujian ini adalah pengujian tegangan tinggi.

Perlunya pengujian tegangan tinggi menuntut adanya cabang studi tegangan tinggi. Yang membahas khusus pengujian tegangan tinggi. Studi ini akan mempelajari cara kerja dan karakteristik peralatan-peralatan uji tegangan tinggi dan prosedur pengujian yang telah distandarisasi.

Adapun peralatan-peralatan yang dibutuhkan untuk pengujian tegangan tinggi adalah:

1. Pembangkit tegangan tinggi yang terdiri atas pembangkit tegangan tinggi AC, pembangkit tegangan tinggi DC, dan pembangkit tegangan tinggi impuls.
2. Alat ukur tegangan tinggi yang terdiri atas alat ukur tegangan tinggi DC, alat ukur tegangan tinggi AC, dan alat ukur tegangan tinggi impuls.
3. Alat pengukur sifat listrik bahan isolasi, antara lain alat ukur rugi-rugi dielektrik, alat ukur resistansi isolasi, alat ukur konduktivitas, dan alat ukur peluahan parsial.

Ditinjau dari keadaan bahan yang diuji selama pengujian berlangsung atau dari dampak pengujian terhadap objek uji, pengujian tegangan tinggi

dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu pengujian tidak merusak dan pengujian merusak.

1. Pengujian tidak merusak (*non-destructive test*), antara lain meliputi:
 - a. Pengukuran resistansi isolasi,
 - b. Pengukuran faktor rugi-rugi dielektrik,
 - c. Pengukuran korona atau peluahan sebagian,
 - d. Pengukuran konduktivitas, dan
 - e. Pemetaan medan elektrik.
2. Pengujian merusak (*destructive test*), antara lain meliputi:
 - a. Pengujian ketahanan (*withstand test*),
 - b. Pengujian peluahan (*discharge test*), dan
 - c. Pengujian kegagalan atau tembus listrik (*breakdown test*).

2.1.1 Pengukuran Tegangan Tinggi

Selain untuk keperluan pengujian di laboratorium, pengukuran tegangan tinggi dibutuhkan juga untuk pengukuran tegangan tinggi di gardu induk sistem tenaga listrik dan instalasi konsumen industri. Pengukuran tegangan tinggi berbeda dengan pengukuran tegangan rendah karena voltmeter konvensional tidak dapat dihubungkan langsung ke terminal tegangan tinggi yang akan diukur. Selain merusak alat ukur, cara itu sangat berbahaya bagi pengguna voltmeternya. Karena itu, perlu penjelasan khusus mengenai pengukuran tegangan tinggi.

Ada tiga jenis tegangan tinggi yang akan diukur dalam pengujian tegangan tinggi, yaitu tegangan tinggi AC, tegangan tinggi DC, dan tegangan tinggi impuls. Ada beberapa cara pengukuran tegangan tinggi, yaitu metode pengukuran dengan (1) sela bola standar, (2) metode pengukuran Chubb & Fortescue, (3) pembagi tegangan kapasitif, (4) trafo ukur, dan (5) voltmeter elektrostatik.

2.2 Alat Ukur Voltmeter Elektrostatik

Alat ukur voltmeter elektrostatik adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur tegangan efektif pada tegangan AC maupun DC dengan frekuensi berapapun.

2.2.1 Dasar Gaya Elektrostatik (Gaya Coulomb)

Gaya Coulomb (\vec{F}) antara dua muatan titik Q_1 dan Q_2 di udara seperti pada Gambar 2.1 secara matematis dinyatakan: (Edminister, 1979: 13)

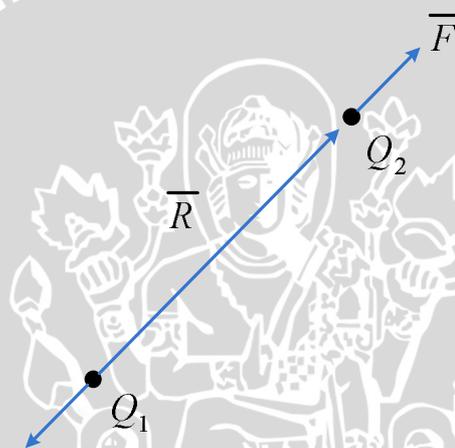
$$\vec{F} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R^2} \hat{a}_R \quad (2-1)$$

dimana:

R : Jarak antara dua muatan

ϵ_0 : Permittivitas ($\frac{1}{36\pi} 10^{-9} F/m$)

\hat{a}_R : $\frac{\vec{R}}{R}$



Gambar 2.1 Gaya antara Dua Muatan

Sumber: Edminister, 1979: 13

Apabila gaya Coulomb diterapkan pada dua elektroda bola seperti pada Gambar 2.2, secara matematis dinyatakan: (Edminister, 1979: 84)

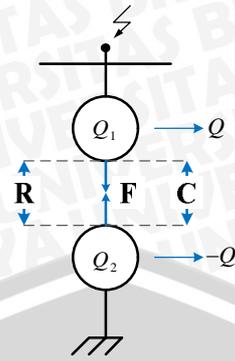
$$\vec{F} = \frac{-Q^2}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad (2-2)$$

Apabila jarak antara dua elektroda merupakan sebuah kapasitor (C), maka

$$C = \frac{Q}{U} \quad (2-3)$$

Substitusikan Pers. (2-2) dengan Pers. (2-3), maka didapatkan

$$\vec{F} = \frac{C^2 U^2}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad (2-4)$$



Gambar 2.2 Gaya Coulomb Pada Elektroda Bola

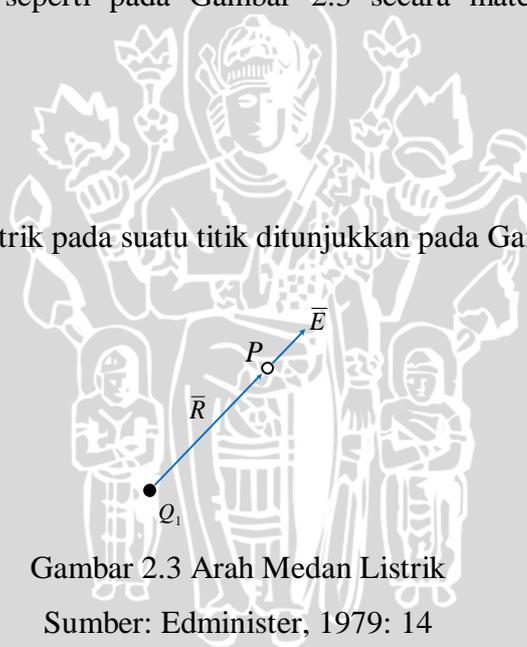
Sumber: Edminister, 1979: 84

2.2.2 Intensitas Medan Listrik

Intensitas medan listrik (\vec{E}) disebabkan medan titik Q_1 yang bergerak sejauh R dimuatan tersebut seperti pada Gambar 2.3 secara matematis dinyatakan: (Edminister, 1979: 14)

$$\vec{E} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R^2} \hat{a}_R \tag{2-5}$$

Arah medan listrik pada suatu titik ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Arah Medan Listrik

Sumber: Edminister, 1979: 14

Mengacu pada Pers. (2-1), terdapat hubungan antara gaya Coulomb \vec{F} dan intensitas medan listrik \vec{E} , yaitu:

$$\vec{F} = Q_2 \vec{E} \tag{2-6}$$

Menurut Pers. (2-6), gaya Coulomb pada Q_2 terjadi apabila ada medan listrik \vec{E} . Medan listrik \vec{E} ditimbulkan oleh muatan Q_1 dengan kata lain Q_1 sebagai sumber medan listrik di dalam ruang. Dengan timbulnya gaya pada Q_2 , maka muatan Q_2 akan bergerak dipercepat searah dengan arah medan listrik. Apabila muatan ini



berada pada suatu elektroda, maka pada elektroda ini akan bekerja gaya elektrostatik (gaya Coulomb).

2.2.3 Faktor Efisiensi Medan Listrik

Besar faktor efisiensi medan listrik (η) pada berbagai konfigurasi susunan elektroda dengan bentuk geometri tertentu dapat didefinisikan menurut Schwaiger sebagai berikut: (Modul Materi Praktikum Tegangan Tinggi: 18)

$$\eta = \frac{E_{rata-rata}}{E_{maksimum}} \quad (2-7)$$

Dan medan listrik maksimumnya adalah

$$E_{maksimum} = \frac{\hat{U}}{s \times \eta_m} \quad (2-8)$$

dengan:

- η : efisiensi medan listrik pada susunan elektroda,
- $E_{rata-rata}$: kuat medan listrik rata-rata (kV/cm),
- $E_{maksimum}$: kuat medan listrik lokal tertinggi (kV/cm),
- \hat{U} : tegangan tembus (puncak) pada susunan elektroda (kV),
- s : jarak sela antar elektroda (cm), dan
- η_m : 1 kV/cm.

Pada susunan elektroda plat sejajar, distribusi medan listriknya homogen sehingga besar $E_{maksimum}$ sama dengan $E_{rata-rata}$. Sebaliknya, pada distribusi medan listrik non homogen akan terdapat kuat medan listrik lokal pada daerah tertentu yang nilainya lebih besar dari kuat medan listrik rata-ratanya. Dengan demikian, maka batas nilai faktor efisiensi medan listrik untuk berbagai susunan elektroda dengan bentuk geometri tertentu memenuhi syarat $\eta \leq 1$.

Besar faktor efisiensi medan listrik bergantung pada bentuk geometris dari susunan elektroda, yaitu untuk susunan elektroda yang memberikan distribusi medan listrik homogen semisal susunan plat sejajar maka $\eta = 1$, sedangkan pada susunan elektroda yang menghasilkan distribusi medan listrik non homogen seperti jarum-piring, batang-bola, maka nilai $\eta < 1$.

Selain mengacu pada Pers. (2–8), faktor efisiensi medan listrik dapat pula ditentukan secara empiris dengan menyatakan η sebagai fungsi dari satu atau dua besaran karakteristik geometris susunan elektroda p dan q. Berdasarkan pada buku faktor efisiensi geometri elektroda menurut Schwaiger halaman pertama, maka:

$$p = \frac{s+r}{r} \quad (2-9)$$

dan

$$q = \frac{R}{r} \quad (2-10)$$

dengan:

s : jarak sela (cm), dan

r, R : jari-jari elektroda (cm), dengan $r < R$.

Nilai dari η fungsi p dan q tersebut untuk bermacam-macam susunan elektroda nantinya dapat dilihat pada buku faktor efisiensi geometri elektroda menurut Schwaiger. Apabila besar efisiensi medan η diketahui, maka kuat medan listrik yang menyebabkan terjadinya tembus (*breakdown*) pada dielektrik dalam sela elektroda dapat ditentukan, yaitu:

$$\hat{U} = E_d \times s \times \eta \quad (2-11)$$

Untuk kuat medan listrik yang menyebabkan terjadi tembus adalah

$$E_d = \frac{\hat{U}}{s \times \eta} \quad (2-12)$$

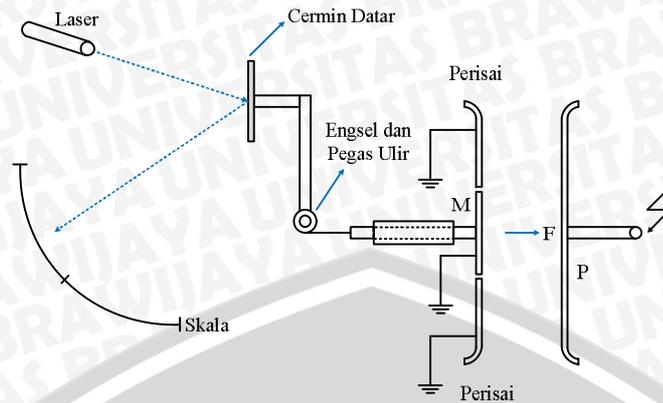
dengan:

\hat{U} : tegangan tembus pada susunan elektroda (kV), dan

E_d : kuat medan listrik yang menyebabkan terjadi tembus (kV).

2.3 Alat Ukur Nilai Tegangan Efektif Voltmeter Elektrostatik

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur tegangan tinggi searah dan tegangan tinggi bolak-balik. Konstruksinya diberikan pada Gambar 2.4. Bagian utama alat ukur ini adalah dua elektroda piring sejajar.



Gambar 2.4 Alat Ukur Voltmeter Elektrostatis

Sumber: Tobing, 2012: 102

Salah satu diantaranya dapat bergerak sepanjang sumbu elektroda (Plat M) dan elektroda yang satu lagi adalah elektroda pengukur (Plat P). Kedua elektroda ini merupakan susunan kondensator yang kapasitansinya sebagai berikut:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{s} \tag{2-13}$$

dengan:

- A : Luas permukaan piring M
- ϵ_0 : Permittivitas udara
- s : Jarak sela elektroda

Jika elektroda pengukur bertegangan, maka timbul medan elektrik (E) di antara kedua elektroda. Agar distribusi medan elektrik tersebut merata, maka di sekeliling piring bergerak diberikan perisai. Medan elektrik ini akan menimbulkan gaya pada muatan-muatan bebas yang terdapat pada elektroda (plat M). Satu muatan Q akan mengalami gaya sebesar:

$$\vec{F} = Q\vec{E} \tag{2-14}$$

Misalnya, total gaya yang dialami semua muatan adalah \vec{F} dan gaya ini membuat piring (Plat M) bergerak sejauh ds menuju elektroda pengukur (Plat P). Pergerakan ini akan menggerakkan reflektor sehingga posisi sinar pantul pada garis skala berpindah. Perpindahan sinar pantul ini sebanding dengan jarak perpindahan piring (Plat M). Perpindahan piring (Plat M) sebanding dengan gaya

yang dialaminya dan gaya ini sebanding dengan medan elektrik pada elektroda pengukuran. Oleh karena itu, perpindahan posisi sinar pantul pada skala sebanding dengan tegangan yang diukur. Berikut ini akan dijelaskan hubungan tegangan yang diukur dengan gaya \bar{F} .

Jika piring (Plat M) berpindah maka ada perubahan energi yang tersimpan pada kapasitor C. Misalnya besarnya perubahan tersebut adalah dW_c . Energi ini digunakan untuk memindahkan piring (Plat M) sejauh ds . Jika gaya yang membuat perpindahan itu adalah \bar{F} , maka energi yang dibutuhkan piring (Plat M) untuk berpindah sejauh ds adalah sebesar $\bar{F} \times ds$. Oleh karena itu dapat ditulis sebagai berikut

$$dW_c = -\bar{F} ds \quad (2-15)$$

Persamaan di atas memberikan

$$\bar{F} = -\frac{dW_c}{ds} \quad (2-16)$$

Energi yang tersimpan dalam kapasitor C adalah

$$W_c = \frac{1}{2} U^2 C \quad (2-17)$$

Substitusi Pers. (2-17) ke dalam Pers. (2-16) menghasilkan

$$\bar{F} = -\frac{d(\frac{1}{2}U^2C)}{ds} \quad (2-18)$$

Substitusi nilai C pada Pers. (2-13) ke dalam Pers. (2-18) menghasilkan

$$\bar{F} = -\frac{1}{2} \frac{dU^2 \epsilon_0 A}{s ds} = \frac{1}{2} U^2 \epsilon_0 A \frac{d}{ds} \frac{1}{s} \quad (2-19)$$

Akhirnya diperoleh

$$\bar{F} = \frac{1}{2} U^2 \epsilon_0 A \frac{1}{s^2} = k_f U^2 \quad (2-20)$$

dengan

$$k_f = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{s^2} \quad (2-21)$$

Terlihat bahwa gaya \bar{F} sebanding dengan kuadrat tegangan U . Akibatnya, alat ukur ini kurang teliti saat mengukur tegangan yang besarnya berada pada jangkauan yang rendah.

Jika diterapkan tegangan $u(t)$ pada suatu susunan elektroda, misalnya seperti dalam Gambar 2.4, maka medan elektrik menghasilkan gaya $F(t)$ yang cenderung mempersempit sela elektroda (S). Gaya tarik tersebut dapat dihitung dari perubahan energi dari medan elektrik dari Pers. (2–20) sehingga diperoleh

$$F(t) = k_f u^2(t) \quad (2-22)$$

Dengan mengintegrasikan Pers. (2–22), maka diperoleh

$$\begin{aligned} \bar{F} &= \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T k_f u^2(t) dt \\ \bar{F} &= k_f \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T k_f u^2(t) dt \right\} \end{aligned} \quad (2-23)$$

Untuk tegangan efektif dituliskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} u_{eff} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T k_f u^2(t) dt} \\ u_{eff}^2 &= \frac{1}{T} \int_0^T k_f u^2(t) dt \end{aligned} \quad (2-24)$$

Maka diperoleh

$$\bar{F} = k_f u_{eff}^2 \quad (2-25)$$

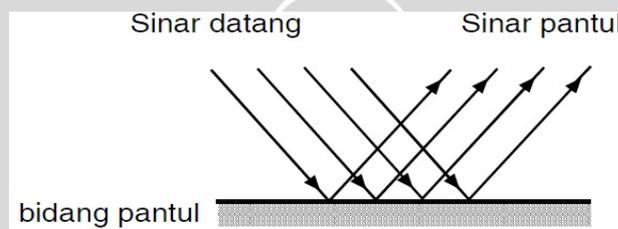
2.4 Pemantulan Cahaya

Cahaya merambat lurus seperti yang dapat kita lihat pada cahaya yang keluar dari sebuah lampu teater di ruang yang gelap atau laser yang melintasi asap atau debu. Oleh karenanya, cahaya yang merambat digambarkan sebagai garis lurus berarah yang disebut sinar cahaya, sedangkan berkas cahaya terdiri dari beberapa garis berarah. Berkas cahaya bisa paralel, divergen (menyebar) atau konvergen (mengumpul).

Pemantulan cahaya terdiri dari dua jenis, yaitu pemantulan baur dan pemantulan teratur. Pemantulan cahaya pada permukaan datar seperti cermin, atau permukaan air yang tenang, termasuk pemantulan teratur. Sedangkan pemantulan cahaya pada permukaan kasar seperti pakaian, kertas dan aspal jalan, termasuk dalam pemantulan baur.

2.4.1 Pemantulan Teratur (Pada Permukaan Rata)

Pada permukaan benda yang rata seperti cermin datar, cahaya dipantulkan membentuk suatu pola yang teratur. Sinar-sinar sejajar yang datang pada permukaan cermin dipantulkan sebagai sinar-sinar sejajar pula. Akibatnya cermin dapat membentuk bayangan benda. Pemantulan semacam ini disebut pemantulan teratur atau pemantulan biasa.



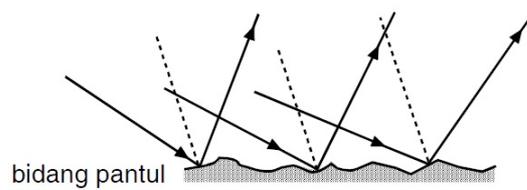
Gambar 2.5 Pemantulan Teratur (Pada Permukaan Rata)

Sumber: Sutarno, 2013: 144

2.4.2 Pemantulan Baur

Berbeda dengan benda yang memiliki permukaan rata, pada saat cahaya mengenai suatu permukaan yang tidak rata, maka sinar-sinar sejajar yang datang pada permukaan tersebut dipantulkan tidak sebagai sinar-sinar sejajar. Gambar 2.6 memperlihatkan bagaimana sinar-sinar yang datang ke permukaan kayu dipantulkan ke berbagai arah sehingga kita dapat melihat kayu ini pada berbagai posisi dan sudut pandang.

Perhatikan bahwa sinar-sinar yang datang ke permukaan kayu merupakan sinar-sinar yang sejajar, namun sinar-sinar pantulnya tidak (seperti pada Gambar 2.6). Pemantulan seperti ini disebut pemantulan baur.



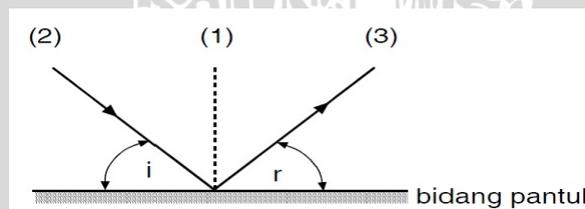
Gambar 2.6 Pemantulan Baur

Sumber: Sutarno, 2013: 144

Akibat pemantulan baur ini kita dapat melihat benda dari berbagai arah. Misalnya pada kain atau kertas yang disinari lampu sorot di dalam ruang gelap, kita dapat melihat apa yang ada pada kain atau kertas tersebut dari berbagai arah. Pemantulan baur yang dilakukan oleh partikel-partikel debu di udara yang berperan dalam mengurangi kesilauan matahari.

2.4.3 Hukum Pemantulan Cahaya

Pada saat sinar mendatangi permukaan cermin datar, cahaya akan dipantulkan seperti Gambar 2.7. garis yang tegak lurus bidang pantul disebut garis normal. Pengukuran sudut datang dan sudut pantul dimulai dari garis ini. Sudut datang (i) adalah sudut yang dibentuk oleh garis normal (1) dan sinar datang (2), sedangkan sudut pantul (r) adalah sudut yang dibentuk oleh garis normal (1) dan sinar pantul (3).



Gambar 2.7 Hukum Pemantulan Cahaya Pada Cermin Datar

Sumber: Sutarno, 2013: 144

Berdasarkan pengamatan dan pengukuran didapatkan bahwa:

1. Sinar datang, sinar pantul dan garis normal terletak pada bidang yang sama,
2. Besar sudut datang (i) sama dengan besar sudut pantul (r).

2.5 Pegas

Pegas adalah elemen mesin fleksibel yang digunakan untuk memberikan gaya, torsi, dan juga untuk menyimpan atau melepaskan energi. Energi disimpan pada benda padat dalam bentuk *twist*, *stretch*, atau kompresi. Energi di-*recover* dari sifat elastis material yang telah terdistorsi. Pegas haruslah memiliki kemampuan untuk mengalami defleksi elastis yang besar. Beban yang bekerja pada pegas dapat berbentuk gaya tarik, gaya tekan, atau torsi (*twist force*). Pegas umumnya beroperasi dengan '*high working stresses*' dan beban yang bervariasi secara terus menerus.

Beberapa contoh spesifik aplikasi pegas adalah

1. Untuk menyimpan dan mengembalikan energi potensial,
2. Untuk memberikan gaya dengan nilai tertentu,
3. Untuk meredam getaran dan beban kejut,
4. Untuk indikator atau kontrol beban, dan
5. Untuk mengembalikan komponen pada posisi semula.

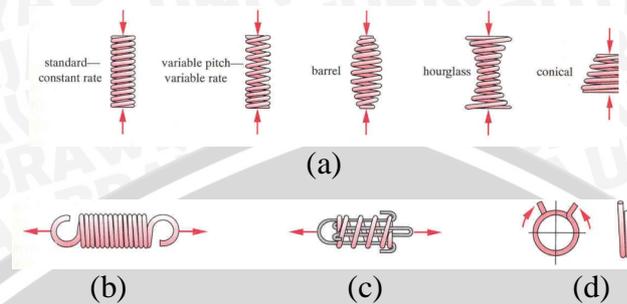
Pegas dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis fungsi dan beban yang bekerja yaitu pegas tarik, pegas tekan, pegas torsi, dan pegas penyimpan energi. Tetapi klasifikasi yang lebih umum adalah berdasarkan bentuk fisiknya.

Klasifikasi berdasarkan bentuk fisik adalah :

1. *Wire form spring (helical compression, helical tension, helical torsion, customform)*,
2. *Spring washers (curved, wave, finger, belleville)*,
3. *Flat spring (cantilever, simply supported beam)*, dan
4. *Flat wound spring (motor spring, volute, constant force spring)*.

Pegas '*helical compression*' dapat memiliki bentuk yang sangat bervariasi. Gambar 2.8(a) menunjukkan beberapa bentuk pegas helix tekan. Bentuk yang standar memiliki diameter *coil*, *pitch*, dan *spring rate* yang konstan. *Picth* dapat dibuat bervariasi sehingga *spring rate*-nya juga bervariasi. Penampang kawat umumnya bulat, tetapi juga ada yang berpenampang segi empat. Pegas konis biasanya memiliki *spring rate* yang non-linear, meningkat jika defleksi bertambah besar. Hal ini disebabkan bagian diameter coil yang kecil memiliki tahanan yang lebih besar terhadap defleksi, dan coil yang lebih besar akan terdefleksi lebih

dulu. Kelebihan pegas konis adalah dalam hal tinggi pegas, dimana tingginya dapat dibuat hanya sebesar diameter kawat. Bentuk *barrel* dan *hourglass* terutama digunakan untuk mengubah frekuensi pribadi pegas standar.

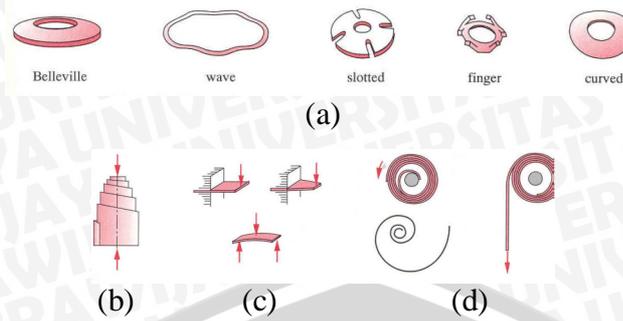


Gambar 2.8 Wire form Spring: (a) Helical Compression Spring, (b) Helical Extension Spring, (c) Drawbar Spring, (d) Torsion Spring

Sumber: Puja, 2005: 10-2

Pegas helix tarik perlu memiliki pengait (*hook*) pada setiap ujungnya sebagai tempat untuk pemasangan beban. Bagian hook akan mengalami tegangan yang relatif lebih besar dibandingkan bagian coil, sehingga kegagalan umumnya terjadi pada bagian ini. Kegagalan pada bagian hook ini sangat berbahaya karena segala sesuatu yang ditahan pegas akan terlepas. Salah satu metoda untuk mengatasi kegagalan hook adalah dengan menggunakan pegas tekan untuk menahan beban tarik seperti ditunjukkan pada gambar 2.8(c). Pegas wire form juga dapat untuk memberikan/menahan beban torsi seperti pada gambar 2.8(d). Pegas tipe ini banyak digunakan pada mekanisme '*garage door counter balance*', alat penangkap tikus, dan lain-lain.

Spring washer dapat memiliki bentuk yang sangat bervariasi, tetapi lima tipe yang banyak digunakan ditunjukkan pada gambar 2.9(a). Spring washer hanya mampu menyediakan beban tekan aksial. Pegas jenis ini memiliki defleksi yang relatif kecil, dan mampu memberikan beban yang ringan. *Volute spring*, seperti pada gambar 2.9(b) mampu memberikan beban tekan tetapi ada gesekan dan histerisis yang cukup signifikan. *Beam spring* dapat memiliki bentuk yang bervariasi, dengan menggunakan prinsip kantilever atau *simply supported*. Spring rate dapat dikontrol dari bentuk dan panjang beam. Pegas beam mampu memberikan atau menahan beban yang relatif besar, tetapi dengan defleksi yang terbatas.



Gambar 2.9 Spring Washer dan Flat Spring : (a) Lima Tipe Spring Washer, (b) Volute Spring, (c) Beam Spring, (d) Power Spring

Sumber: Puja, 2005: 10-3

Power spring seperti ditunjukkan pada gambar 2.9(d) sering juga disebut pegas motor atau *clock spring*. Fungsi utamanya adalah menyimpan energi dan menyediakan twist. Contoh aplikasinya adalah pada *windup clock*, mainan anak-anak. Tipe yang kedua disebut dengan *constant force spring*. Kelebihan pegas ini adalah defleksinya atau stroke yang sangat besar dengan gaya tarik yang hampir konstan.

Jika gaya yang bekerja pada sebuah pegas dihilangkan, pegas tersebut akan kembali pada keadaan semula. Robert Hooke, ilmuwan berkebangsaan Inggris menyimpulkan bahwa sifat elastis pegas tersebut ada batasnya dan besar gaya pegas sebanding dengan pertambahan panjang pegas. Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa besar gaya pegas pemulih sebanding dengan pertambahan panjang pegas. Secara matematis, dapat dituliskan sebagai

$$F_p = -k_p \Delta x \tag{2-26}$$

Dengan

- F_p : Gaya pegas,
- k_p : konstanta pegas, dan
- Δx : total simpangan pegas.

Tanda minus (-) diberikan karena arah gaya pemulih pada pegas berlawanan dengan arah gerak pegas tersebut.