# PENGARUH PERBANDINGAN TEBAL DENGAN LEBAR PENAMPANG TERHADAP KEKAKUAN WAVE SPRING TIPE NESTED SPIRAWAVE MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

# SKRIPSI BIDANG STUDI TEKNIK KONSTRUKSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

SYAFRIL SYARIEF NIM. 0001060240-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN MALANG 2007

#### **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang dengan limpahan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pengaruh Perbandingan Tebal dan Lebar Penampang Terhadap Kekakuan *Wave Spring* Tipe *Nested Spirawave* Menggunakan Metode Elemen Hingga".

Ucapan terima kasih yang tulus penulis haturkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu:

- 1. Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- 2. Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc,CSE selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- 3. Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT, selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konstruksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus dosen pembimbing I yang telah memberi arahan dalam menyelesaikan skripsi.
- 4. Ir. Ari Wahyudi, MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan selama penyusunan skripsi.
- 5. Moch. Agus Choiron, ST.,MT, selaku Kepala Studio Perencanaan dan Rekayasa Sistem Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas fasilitas dan ilmu yang mendukung pengerjaan penelitian ini.
- 6. Bapak Muchtar dan Ibu Sulastri tercinta serta seluruh anggota keluarga yang penulis selalu banggakan.
- 7. Pihak- pihak yang telah memberi bantuan secara moril, materiil dan spirituil dalam pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Namun semoga bisa memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Malang, 12 Juli

2007

# DAFTAR ISI

		TAR	
DAI	TAR GAMB	AR	. v
RIN	GKASAN		vii
		AHULUAN BRAW	
RΔ	R I PENDA	AHULUAN	
		ng	1
		nsalah	1
1.3.	Ratacan Mac	alah	2
1.4.	Tujuan Penul	lisan	3
1.5.	Manfaat Pen	ulisan. A Salah Marana Mar	3
1.6.		Penulisan	
1.0.	Distematika 1		2
BA	B II TINJA	UAN PUSTAKA	
		belumnya	
		num Tentang Pegas	
2.3.	Tinjauan Um	num Tentang Wave Spring	
	2.3.1.	Wave Spring Putaran Tunggal	6
	2.3.2.	Wave Spring Putaran Banyak	7
	2.3.3.	Material Wave Spring	8
	2.3.4.	Aplikasi Wave Spring	8
2.4 .	Tinjauan Um	num Kekakuan Bahan	9
	2.4.1.	Konsep Tegangan dan Regangan	10
	2.4.2.	Tegangan pada Wave Spring	11
	2.4.3.	Defleksi pada Wave Spring.	12
	2.4.4.	Ekspansi Diameter	12
	2.4.5.	Kekakuan Wave Spring	13

2.5.	Analisa Tegar	ngan	14
			18
2.7.	Konsep Meto	ode Elemen Hingga	19
	2.7.1.	Analisis Menggunakan Software yang Berbasis Metode	
		Elemen Hingga	
	2.7.2.	Elemen Solid 164 – 3D.	20
2.8.	Hipotesa		21
BAB	III METOD	OLOGI	
3.1.	Metode Penel	litian	22
3.2.	Tempat dan V	Waktu Penelitian	22
3.3.	Alat dan Baha	an yang Digunakan	22
3.4.	Tahap- Tahap	o Proses Analisa	22
3.5.	Diagram Alir	Penelitian	25
BAB	IV PERHIT	UNGAN DAN PEMBAHASAN	
4.1.		pesimen	
4.2.	Perhitungan S	Secara Teoritis	27
	4.2.1.	Perhitungan Tegangan dan Defleksi	27
	4.2.2.	Perhitungan Ekspansi Diameter Maksimal	29
4.3.	Analisa Meng	ggunakan Software Berbasis Metode Elemen Hingga	30
	4.3.1.	Proses Awal (Preprocessing)	
	4.3.2.	Proses Solusi ( Solution )	32
	4.3.3.	Proses Pembacaan Hasil ( Postprocessing )	33
		4.3.3.1. Defleksi pada Hasil Simulasi	
		4.3.3.2. Tegangan pada Hasil Simulasi	35
4.4.	Analisa Keka	ıkuan Hasil Simulasi	37
4.5.	Pembahasan.		
	4.5.1.	Defleksi pada Wave Spring.	
	4.5.2.	Tegangan pada Wave Spring	
	4.5.3.	Analisa Kekakuan	41

5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	46



# DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Faktor Pengkali Gelombang	12
Tabel 4.1.	Ukuran Spesimen	27
Tabel 4.2.	Pertambahan Diameter Hasil Perhitungan Teoritis	30
Tabel 4.3.	Defleksi Searah Sumbu Z pada Pembebanan 100 N	33
Tabel 4.4	Tegangan Von Mises pada Pembebanan 100 N	35
Tabel 4.5.	Kekakuan Rata- Rata Spesimen Hasil Simulasi	37
Tabel 4.6.	Defleksi Hasil Perhitungan Teoritis dan Simulasi	38
Tabel 4.7.	Tegangan Hasil Perhitungan Teoritis dan Simulasi	40
Tabel 4.8.	Tegangan Von Mises pada Pembebanan 100 N	40

# DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halamar
Gambar 1.1.	Perbedaan Tinggi Operasi Wave Spring Dibanding Coil	
	Spring	1
Gambar 2.1.	Macam- macam Produk Wave Spring	
Gambar 2.2.	Wave Spring (a) Tipe Gap, (b) Tipe Over lap	6
		6
Gambar 2.3.	Wave Spring Putaran banyak (a) Crest to Crest Squered	7
	Shim End (b) Crest to Crest Plain End	
Gambar 2.4.	Wave Spring Putaran Banyak, Tipe Nested Spirawave	7
Gambar 2.5.	Flow Valve	9
Gambar 2.6.	Penggunaan Wave Spring pada Cluth	9
Gambar 2.7.	Kurva Tegangan- Regangan untuk Logam Pilihan dan	7
	Paduan	11
Gambar 2.8.	Ekspansi Diameter pada Wave Spring	13
Gambar 2.9.	Perbandingan Kekakuan Wave Spring secara Teoritis	
	dengan Pengujian	13
Gambar 2.10.	Tegangan dan Regangan pada Elemen yang Sangat Kecil	14
Gambar 2.11.	Regangan Normal dan Kontraksi dalam Arah x,y dan z	15
Gambar 2.12.	Regangan Murni (a) Kubus yang Mengalami Regangan	
	Geser (b) Bidang yang Mengalami Regangan Geser	17
Gambar 2.13.	Elemen Solid 164 – 3D	20
Gambar 3.1.	Pemodelan pada Wave Spring	24
Gambar 3.2.	Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 4.1.	Ukuran dalam Wave Spring	26
Gambar 4.2.	Plot Volume Spesimen Setelah Terbentuk	30
Gambar 4.3.	Spesimen Setelah Meshing	32
Gambar 4.4.	Penempatan Gaya dan Kondisi Batas pada Model	33
Gambar 4.5.	Plot Kontur Defleksi pada Pembebanan 100 N	
	terhadap Spesimen I	34
Gambar 4.6.	Plot Kontur Defleksi pada Pembebanan 100 N	
	terhadap Spesimen II	34

Gambar 4.7.	Plot Kontur Defleksi pada Pembebanan 100 N	
	terhadap Spesimen III	35
Gambar 4.8.	Plot Kontur Tegangan pada Pembebanan 100 N	
	terhadap Spesimen I	36
Gambar 4.9.	Plot Kontur Tegangan pada Pembebanan 100 N	
	terhadap Spesimen II	36
Gambar 4.10.	Plot Kontur Tegangan pada Pembebanan 100 N	
	terhadap Spesimen III	37
Gambar 4.11.	Kontur Defleksi pada Puncak Gelombang Saat	
	Pembebanan	39
Gambar 4.12.	Tegangan Von Mises Maksimal Hasil Simulasi	41
Gambar 4.13.	Grafik Perbandingan Kurva Kekakuan Ketiga Spesimen	
	Pemodelan	41
Gambar 4.14.	Grafik Pengaruh Perbandingan Tebal dan Lebar Material	
	Terhadap Kekakuan Wave Spring	42

#### RINGKASAN

SYAFRIL SYARIEF, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2007, Pengaruh Perbandingan Tebal dengan Lebar Penampang Terhadap Kekakuan Wave Spring Tipe Nested Spirawave Menggunakan Metode Elemen Hingga. Dosen Pembimbing I: Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., Dosen Pembimbing II: Ir. Ari Wahyudi, MT.

Wave spring adalah pegas yang berbentuk gulungan melingkar dan bergelombang sinusoidal dalam satu kesatuan. Desain khusus wave spring membuat kekuatanya besar dan stabil saat dikenakan beban aksial. Wave Spring mampu menghemat ruang kerja sampai 1/3 bagian dibandingkan coil spring pada beban aksial yang sama. Nested spirawave merupakan salah satu jenis wave spring putaran banyak. Jenis ini didesain untuk pembebanan yang besar dengan defleksi kecil.

Penentuan tebal dan lebar berperan penting dalam desain sebuah wave spring. Desain yang tepat akan menghasilkan pegas yang sesuai dengan kebutuhan pemakaian. Salah satu kebutuhannya adalah karakteristik kekakuan. Kekakuan sebuah pegas berpengaruh pada ruang kerja yang dibutuhkan. Hasil penelitian ini akan mempermudah penentuan desain tebal dan lebar wave spring tipe nested spirawave agar sesuai dengan nilai kekakuan yang telah direncanakan.

Perhitungan pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan sebuah software yang berbasis metode elemen hingga. Data yang dihasilkan adalah berupa plot defleksi dan tegangan kemudian diolah dengan memanfaatkan rumusan perhitungan kekakuan. Data wave spring diperoleh dari Smalley Steel Ring Company .Selanjutnya dilakukan variasi tebal dan lebar penampang sehingga diperoleh tiga spesimen uji yaitu spesimen dengan perbandingan tebal terhadap lebar penampang sebesar 0,1218 kemudian 0,1753 serta 0,2387. Pengujian dilakukan dengan pembebanan searah aksial sebesar100 N pada setiap spesimen.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar perbandingan tebal dengan lebar penampang maka kekakuan wave spring tipe nested spirawave semakin besar.



# BAB I

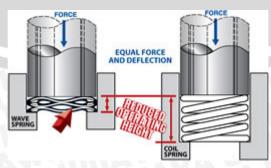
#### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Pemakaian peralatan dan mesin dalam dunia industri merupakan sesuatu yang tak terelakkan lagi. Penggunaan mesin dalam dunia industri tersebut menyangkut kebutuhan akan efisiensi dalam proses produksi. Seiring dengan perkembangan teknologi yang begitu pesat, diharapkan efisiensi tersebut tidak hanya menyangkut biaya produksi yang dapat ditekan, akan tetapi juga pada sistem operasionalnya yang lebih optimal.

Pada sistem permesinan selalu dijumpai berbagai macam mekanisme gerak. Mekanisme gerak pada sistem permesinan ada yang menguntungkan tetapi ada pula beberapa gerakan yang merugikan. Sebagai contoh adalah getaran yang tidak dibutuhkan keberadaannya. Pada umumnya permasalahan getaran ini dapat dilakukan dengan penempatan komponen pegas pada bagian- bagian tertentu. Cara ini dipilih karena pegas memiliki kemampuan dalam meredam getaran. Ketika pegas menerima beban maka pegas akan mengalami defleksi dan akan kembali ke kondisi semula bila beban dihilangkan. Pemakaian pegas memerlukan perhitungan dan perencanaan yang tepat terkait dengan pemilihan jenis dan karakteristik pegas yang akan dipakai.

Wave spring merupakan salah satu jenis pegas yang memiliki karakteristik berbeda dengan pegas pada umumnya. Bentuk wave spring yang bergelombang merupakan salah satu konsep baru dalam aplikasi pegas. Ruang kerja yang dibutuhkan oleh wave spring cenderung lebih sedikit. Wave spring hanya memerlukan sepertiga tinggi operasi jika dibandingkan dengan kebutuhan tinggi operasi coil spring. Perbandingan kebutuhan tinggi operasi tersebut dapat dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.1. Perbedaan Tinggi Operasi *Wave Spring* dibanding Coil Spring.

Sumber: www.smalley.com

Penampang wave spring berbentuk pipih dengan besar lebar dan tebal yang seragam sepanjang lingkar diameternya. Untuk perencanaan wave spring dibutuhkan kecermatan agar karakteristik kekakuan yang dimilikinya sesuai dengan kebutuhan pemakaian.

Wave spring memiliki sifat mampu mengalami deformasi ke arah aksial maupun ke arah radial saat diberikan beban arah aksial. Pada aplikasinya, wave spring diletakkan pada lubang atau poros dengan ruang kerja yang sempit, baik secara aksial maupun radial. Berdasarkan hal itu maka perbandingan antara lebar dan tebal penampang wave spring harus direncanakan dengan baik. Pada penelitian sebelumnya tentang wave spring tipe crest to crest, menyatakan bahwa perbandingan antara tebal dan lebar penampang wave spring berpengaruh terhadap tegangan Von Mises maupun kekakuannya (Erowadi Donny: 2005).

Nested spirawave adalah salah satu jenis wave spring putaran banyak dengan pola susunan tiap lapis putarannya tersusun secara paralel. Wave spring tipe nested spirawave memiliki bentuk geometri sangat berbeda dengan tipe crest to crest. Tipe nested spirawave dirancang untuk mengalami defleksi yang lebih kecil daripada jenis crest to crest (Smalley, 2002: 28). Tipe nested spirawave merupakan tipe khusus yang belum memiliki standar baku dari perusahaan yang memproduksi wave spring, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terkait dengan perbandingan antara ukuran tebal dan lebar wave spring tipe nested spirawave sebelum direncanakan pemakaiannya.

Perkembangan teknologi saat ini telah bergerak begitu cepatnya, termasuk juga dengan keberadaan program- program simulasi numerik. Keunggulannya yang mampu memberikan hasil perhitungan dengan akurat dan cepat pada permasalahan perhitungan yang kompleks telah membantu penyelesaian penelitian- penelitian serupa sebelumnya. Biaya penelitian yang harus dikeluarkan pun cenderung lebih rendah daripada penelitian nyata. Oleh sebab itu, perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini akan menggunakan software simulasi numerik yang berbasis metode elemen hingga.

#### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- 1. Bagaimana pengaruh perbandingan lebar dengan tebal penampang wave spring tipe nested spirawave terhadap kekakuannya?
- 2. Bagaimana pengaruh perbandingan lebar dengan tebal penampang wave spring tipe nested spirawave terhadap distribusi tegangannya?.

#### 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang dipakai dalam penulisan ini antara lain:

- 1. Perhitungan dilakukan pada sample desain *wave spring* putaran banyak tipe *nested spirawave* dengan 3 macam spesifikasi pegas.
- 2. Analisis dilakukan dengan menggunakan software berbasis elemen hingga.
- 3. Beban yang dikenakan adalah beban statis.
- 4. Tidak membahas proses pembuatan pegas.
- 5. Bahan dianggap homogen dan isotropik.

# 1.4. Tujuan Penulisan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk:

- 1. Mengetahui pengaruh perbandingan lebar dengan tebal penampang terhadap karakteristik kekakuan *wave spring* putaran banyak dengan tipe *nested spirawave*.
- 2. Mengetahui pengaruh perbandingan lebar dengan tebal penampang terhadap distribusi tegangan pada *wave spring* putaran banyak dengan tipe *nested spirawave*.

## 1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat dari penulisan skripsi ini adalah :

- 1. Menambah pengetahuan tentang *wave springs* dan aplikasinya serta memberikan dasar penulisan ilmiah selanjutnya.
- 2. Sebagai bahan pertimbangan bagi pengguna pegas tentang kelebihan dan kekurangan penggunaan *wave spring*, khususnya pada tipe *nested spirawave*.

#### 1.6. Sistematika Penulisan

Berikut ini adalah sistematika penulisan dalam penyusunan tugas akhir ini:

#### **BABI PENDAHULUAN**

Pada bagian ini dijelaskan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian. Di sini akan diangkat alasan yang mendasari perlunya permasalahan ini untuk diteliti.

#### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan dasar- dasar teori yang dipakai dalam menganalisa dan mendukung segala sesuatu yang terkait dengan permasalahan.

#### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode penelitian, urutan proses penelitian yang dipakai.

# BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan ditampilkan proses perhitungan berikut hasil- hasilnya untuk kemudian dilakukan analisis tentang distribusi tegangan dan defleksi yang dialami *wave spring*, baik secara teori maupun hasil perhitungan program komputer.

# BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini memuat kesimpulan atas hasil analisis dari perhitungan yang telah dihasilkan beserta saran yang dapat diberikan untuk pembaca tugas akhir ini.



# BAB II TINJAUAN PUSTAKA

# 2.1. Penelitian sebelumnya

# • Donny Erowadi, 2005

Melakukan penelitian dalam skripsinya yang berjudul "Analisa Pengaruh Perbandingan Lebar ( Radial Wide Of Wall ) dengan Tebal ( Thickness Of Material ) terhadap Karakteristik Wave Spring tipe Crest To Crest menggunakan Metode Elemen Hingga". Analisis dilakukan pada wave spring yang diproduksi oleh Smalley Steel Ring Company dengan tiga macam spesimen, yaitu CS075 L1, CS075 M1 dan CS075 H1. Pembebanan dilakukan sebanyak empat macam pada setiap spesimen, yaitu 3 psi, 6 psi, 9 psi dan 12 psi. Analisis dilakukan dengan menggunakan software berbasis metode elemen hingga. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa spesimen CS075 LI yang memiliki perbandingan lebar dan tebal terbesar yaitu 8,875 mempunyai nilai kekakuan terkecil yaitu 92,3 dan tegangan Von Mises tertinggi pada pembebanan 12 lbs, yaitu sebesar 0,207E+06 psi.

## 2.2. Tinjauan umum tentang pegas

Pegas merupakan benda elastis yang memiliki fungsi utama untuk berdefleksi atau menyerap energi bila diberi beban dan akan kembali ke bentuk semula apabila beban tersebut dihilangkan. Namun tidak semua benda yang bersifat elastis bisa dinamakan pegas, menyangkut fungsi utamanya yang tidak untuk berdefleksi. Balok struktur yang mengalami defleksi saat diberi beban tidak dikategorikan sebagai pegas karena fungsi sebenarnya adalah tetap kaku saat menerima beban.

#### 2.3. Tinjauan umum tentang wave spring

Wave spring adalah pegas yang berbentuk gulungan melingkar dan bergelombang sinusoidal dalam satu kesatuan. Pada desain wave spring tidak diperlukan lagi peralatan khusus seperti kunci khusus (special keys), las titik (spot welding), paku keling (rivets) atau prosedur lain pada saat perakitan.

Kelebihan wave spring dalam pemakaiannya adalah:

- 1. Kekuatan yang dimiliki besar dengan dimensi yang stabil.
- 2. Mampu mengurangi volume kerja hingga sepertiga bagian dibandingkan jenis *coil spring* pada besar beban operasi yang sama (*Smalley*, 2002: 6).



Gambar 2.1. Macam- macam produk *wave spring* Sumber: <a href="https://www.smalley.com">www.smalley.com</a>

# 2.3.1. Wave spring putaran tunggal (single turn)

Pegas jenis wave spring putaran tunggal (single turn) merupakan bentuk dasar dari jenis yang lainnya dan paling banyak dipakai dengan tujuan untuk penyederhanaan bentuk desain. Wave spring dengan putaran tunggal ini mempunyai dua tipe yaitu tipe gap dan tipe overlap. Pada wave spring tipe gap (lihat gb.2.2.a), ujung satu dengan lainnya tidak saling bertemu dan dipisahkan oleh celah. Pada wave spring tipe overlap (lihat gb.2.2.b), antara ujung yang satu dengan ujung lain dibuat saling tumpang tindih agar dapat bergerak bebas sepanjang keliling wave spring (Smalley 2002: 5).





b

Gambar 2.2. *Wave spring* (a) *tipe gap*, (b) *tipe over lap* Sumber: *Smalley* 2002 : 5

# 2.3.2. Wave spring putaran banyak (Multiple turn/spirawave)

Jenis ini ditandai dengan jumlah lapis putarannya lebih dari satu dan disusun secara melingkar baik pararel maupun seri. Berdasarkan bentuk fisiknya terbagi atas 2 macam,yaitu :

## 1. Crest to Crest Spirawave

Pada *wave spring* tipe *crest to crest*, tiap lapisannya disusun secara paralel sehingga semakin banyak jumlah susunannya, beban yang dapat diberikan akan semakin besar. *Wave spring* jenis ini dapat menghemat pemanfaatan ruang sekitar 60 % jika dibandingkan dengan *coil spring* pada kondisi pembebanan yang sama.

Jenis ini terdiri atas 2 macam, yaitu crest to crest squered shim end dan crest to crest plain end (Smalley 2002: 5)





Gambar 2.3. Wave spring putaran banyak (a) crest to crest squered shim end (b) crest to crest plain end Sumber: Smalley 2002: 5

# 2. Nested Spirawave

Wave spring tipe nested spirawave adalah suatu pegas yang bergulung melingkar dan bergelombang serta disusun secara paralel yang merupakan salah satu hasil pengembangan wave spring tipe putaran tunggal. Tipe ini dirancang untuk mampu berfungsi sebagai spring pada pembebanan yang relatif lebih besar daripada putaran tunggal dengan ketebalan yang sama. Wave spring tipe nested spirawave memiliki jumlah lapisan lebih dari satu tetapi tidak terlalu membutuhkan ruang kerja yang banyak jika dibandingkan dengan tipe crest to crest karena cara penyusunannya yang rapat antar tiap lapisan putarannya (Smalley 2002:5).



Gambar 2.4. *Wave spring* putaran banyak, tipe *nested spirawave* Sumber Smalley 2002:5

# 2.3.3. Material wave spring

Material yang dipakai sebagai bahan pembuatan wave spring disesuaikan dengan kebutuhan pemakaian. Material yang sering digunakan dalam wave spring adalah baja karbon dan stainless steel.

(Sumber: Smalley 2002: 7)

#### a. Baja Karbon

Carbon spring temper steel (SAE 1070-1090) adalah material standar yang digunakan untuk wave spring atau pegas tekan. Material tersebut diberi pelumas dengan cara dicelupkan pada minyak khusus pada saat proses finishing. Proses pelumasan dilakukan agar permukaan material tidak mudah berkarat.

#### b. Stainless Steel

17-7PH/C Stainless steel adalah campuran logam yang mengandung 17 % kromium dan 7 % nikel dengan proses pengerasan penyepuhan (presipitation hardening "PH"). Jenis material ini seringkali dipakai karena ketahanannya yang baik terhadap korosi dan mempunyai batas operasi pada suhu yang relatif tinggi dibandingkan dengan baja karbon.

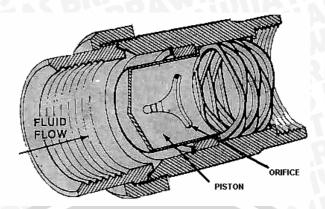
#### 2.3.4. Aplikasi wave spring

Wave spring tidak dirancang untuk mengalami defleksi yang besar seperti pada coil spring. Wave Spring merespon beban yang relatif lebih besar dengan defleksi yang kecil. Penggunaan wave spring lebih diutamakan pada kekakuannya. Wave spring banyak digunakan untuk bantalan beban ataupun sebagai penahan yang membutuhkan ruang radial dan aksial yang relatif lebih kecil. Pemakaian wave spring dalam permesinan diantara adalah sebagai berikut:

(Sumber: Smalley 2002: 26)

#### a. Flow Valve

Pada saat tekanan fluida meningkat, piston akan bergerak dan akan menekan wave spring. Wave spring tersebut akan mengontrol pergerakan piston sehingga fluida dapat mengalir dengan baik melalui *orifice* sesuai dengan jarak linier yang diharapkan. Peletakan wave spring dalam sebuah flow valve dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. *Flow valve* Sumber: Smalley 2001: 26

#### b. Clutch

Wave spring tipe nested spirawave biasanya digunakan dalam memisahkan pelat clutch. Tekanan pneumatic menyebabkan hubungan antar pelat kopling. Namun pada saat tekanan dilepaskan, maka wave spring melepas hubungan pada pelat tersebut sehingga pelat kembali pada kondisi terpisah.



Gambar 2.6. Penggunaan *wave spring* pada *cluth* Sumber: Smalley, 2002 : 34

# 2.4. Tinjauan umum kekakuan Bahan

Nilai kekakuan (k) suatu benda dapat diartikan sebagai besarnya beban (P) yang dibutuhkan untuk menghasilkan perpanjangan satuannya (f). Nilai kekakuan tersebut dapat diketahui berdasarkan defleksi yang terjadi. Semakin kaku sebuah benda maka tingkat defleksinya semakin kecil. (*Smalley*, 2002: 29):

$$k = \frac{P}{f}$$

# 2.4.1 Konsep tegangan dan regangan

Jika suatu benda dikenakan beban, maka akan terjadi tegangan maupun regangan pada benda itu. Besarnya nilai tegangan (σ) tersebut diperoleh dengan cara membagi gaya tarik atau tekan (P) dengan luasan benda (A).

(Gere et.al, 1996:3):

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Tegangan normal yang menghasilkan trikan (traction atau tension) pada sebuah potongan biasa disebut tegangan tarik (tensile stress). Sedangkan tegangan normal yang mendorong potongan tersebut dinamakan tegangan tekan (compresive stress).

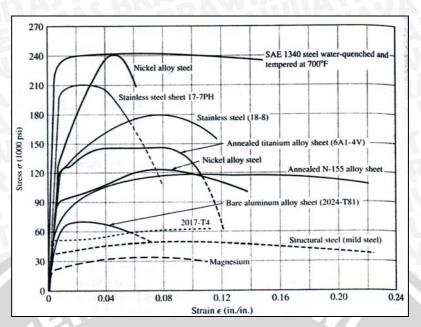
Regangan (ε) merupakan nilai perbandingan besarnya perpanjangan (δ) yang terjadi tiap satuan panjang benda (L). (Gere et.al, 1996: 5):

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Jika benda tersebut mengalami tarikan maka regangan normal ini disebut regangan tarik yang menunjukkan perpanjangan. Namun bila benda mengalami gaya tekan maka regangan normal tersebut dinamakan regangan tekan sekaligus menyatakan benda mengalami penyusutan ukuran benda. Karena regangan merupakan rasio antara dua nilai panjang maka tidak memiliki satuan. Hubungan antar tegangan dengan regangan setiap bahan dapat digambarkan dalam kurva tegangan- regangan. Kurva tegangan regangan untuk logam paduan pilihan dapat dilihat pada gambar 2.7. Hubungan antara nilai tegangan dan regangan normal dapat dijelaskan oleh hukum Hooke, dengan nilai tetapan pembanding modulus elastisitas (E). (Gere et.al, 1996: 5):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$
 2-4

Hukum Hooke berlaku pada saat material masih bersifat linier elastis. Dalam kurva hubungan antara tegangan dan regangan kondisi material masih elastis ditunjukkan sebagai sebuah garis lurus mulai awal pembebanan hingga mencapai batas proporsional. Setelah melebihi batas proporsional material memasuki kondisi plastis dan sekaligus hukum *Hooke* tidak berlaku lagi dalam menyatakan perbandingan antara tegangan dengan regangan material akibat pembebaban.



Gambar 2.7. Kurva tegangan-regangan untuk logam pilihan dan paduan Sumber: Smith, William F, 2004 : 206

# 2.4.2. Tegangan pada wave spring

Ketika *wave spring* diberikan pembebanan, maka tegangan *bending* yang dialami sama seperti pada pembebanan sebuah balok sederhana. Nilai tegangan yang terjadi pada *wave spring* dirumuskan sebagai berikut (Smalley, 2002: 27):

$$S = \frac{3\pi PD_m}{4bt^2N^2Z}$$
 2-5

dengan

S = tegangan bending (psi)

P = beban operasi (lbs)

 $D_m$  = diameter rata-rata (in)

b = lebar radial (in)

t = tebal (in)

N = jumlah gelombang

Z = jumlah putaran

# 2.4.3. Defleksi pada wave spring

Pada saat *wave spring* diberikan pembebanan, maka *wave spring* akan mengalami defleksi. Perubahan dimensi terjadi secara aksial maupun radial. Defleksi dengan arah aksial dapat dihitung melalui persamaan (Smalley, 2001:27):

$$f = \frac{PKD_m^3}{Ebt^3N^4Z} \times \frac{I.D}{O.D}$$
2-6

BRAWINA

dengan

f = defleksi (in)

P = beban operasi (lbs)

K = faktor pengkali

 $D_m$  = diameter rata- rata (in)

Z = jumlah putaran

E = modulus elastisitas (psi)

b = lebar radial (in)

t = tebal (in)

I.D = diameter dalam (in)

O.D = diameter luar (in)

Table 1. Faktor Pengkali Gelombang

N	2,0-4,0	4,4-6,5	7,0 – 9,5	10,0 keatas
K	3,88	2,90	2,30	2,13

N = jumlah gelombang

Sumber: Smalley, 2002: 27

# 2.4.4. Ekspansi diameter

Defleksi yang terjadi dalam arah radial mengakibatkan terjadinya ekspansi diameter. Besarnya nilai ekspansi diameter pada *wave spring* tipe *nested* dapat diketahui dengan (Smalley, 2001:27):

$$D_s = 0.0222 \times R \times N \times \theta + b$$
 2-7

dengan

R = radius gelombang =  $(4Y^2 + X^2) \div 8Y$  (in)

N = jumlah gelombang

 $\theta = ArcSin(X \div 2R)(^{\circ})$ 

b = lebar(radial wall) (in)

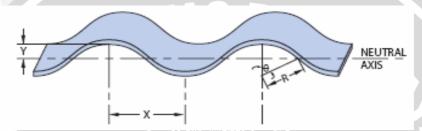
 $X = \frac{1}{2}$  frekuensi gelombang

 $= \pi D_m \div 2N$  (in)

Y = tinggi gelombang

 $= (H t) \div 2N (in)$ 

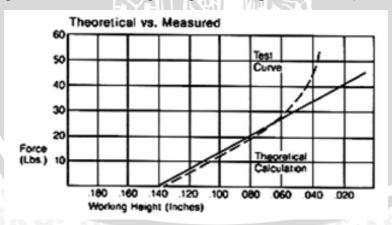
H = tinggi bebas setiap belokan (in)



Gambar 2.8. Ekspansi diameter pada wave spring Sumber: Smalley ,2002: 28

# 2.4.5. Kekakuan wave spring

Kekakuan pegas dapat diartikan sebagai perbandingan antara beban yang diberikan dengan defleksi yang terjadi. Kekakuan *wave spring* dapat dihitung dengan memanipulasi persamaan untuk menghitung defleksi (persamaan 2-6).



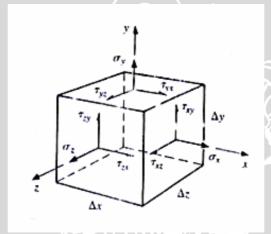
Gambar 2.9. Perbandingan kekakuan *wave spring* secara teoritis dengan pengujian Sumber: *Smalley* ,2002: 29

Saat defleksi yang terjadi pada *wave spring* telah mencapai 80%, nilai defleksi pada perhitungan matematis sudah tidak sebanding lagi dengan kondisi aktual. Hal ini disebabkan karena terjadi pembelokan yang besar setelah *wave spring* mengalami

defleksi melebihi 80 % dari defleksi yang tejadi (gambar 2.9). Pembelokan ini terjadi karena *wave spring* sudah mendekati keadaan *solid* dimana defleksi yang terjadi sangat dekat dengan batas regang dari material. Apabila pembebanan diteruskan melampaui dari batas yang telah diijinkan, maka akan terjadi perubahan bentuk (deformasi) yang permanen dan akan mengurangi umur *wave spring* (*Smalley* 2002: 29).

# 2.5. Analisis Tegangan

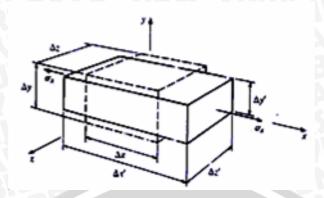
Diasumsikan kontinum yang dianalisis terdiri dari material elastis dengan regangan yang kecil. Hubungan antara tegangan dan regangan dapat di gambarkan dalam sistem koordinat ortogonal yang mengikuti kaidah tangan kanan. Misalnya pada koordinat cartesius ( segi empat ) terdapat 3 sumbu, yaitu x, y dan z. Sedangkan dalam sistem koordinat kutub ( silinder ), sebuah koordinat dinyatakan dengan hubungan r, θ dan z.



Gambar 2.10. Tegangan dan regangan pada elemen yang sangat kecil Sumber: Weaver Jr ,1989: 9

Pada gambar 2.10 diperlihatkan sebuah elemen yang sangat kecil dalam sumbu koordinat kartesius yang panjang sisi-sisinya dinyatakan dalam  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ . Tegangan yang terjadi adalah tegangan normal yang diberi notasi  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ . Tegangan gesernya adalah  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{zx}$  dan seterusnya dan berada pada permukaan elemen. Berdasarkan persamaan kesetimbangan elemen tersebut didapat hubungan

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}; \tau_{yz} = \tau_{zy}; \tau_{zx} = \tau_{xz}$$
 2-8



Gambar 2.11. Regangan normal dan kontraksi dalam arah x,y dan z Sumber: Budynas, 1997 : 20

Pada gambar 2.11 menjelaskan bahwa jika suatu benda diberi pembebanan pada suatu garis lurus maka akan terjadi peregangan dalam arah tegak lurus maupun searah pembebanan. Selain itu benda akan mengalami kontraksi dalam arah y dan z.

Kostanta kesebandingan antara regangan aksial (arah sumbu x) dengan regangan lateral (arah sumbu y dan z) disebut dengan *poison ratio*. Persamaan konstanta yang bekerja pada tegangan dibawah batas proporsional adalah

(Gere et.al, 1996: 20)

$$v = \frac{\text{regangan lateral}}{\text{regangan aksial}}$$
 2-9

$$\mathbf{v} = \frac{\varepsilon_{y}}{\varepsilon_{x}} = \frac{\varepsilon_{z}}{\varepsilon_{x}}$$
 2-10

Kontraksi dalam arah lateral ( arah y dan z) adalah sama:

$$\varepsilon_{y} = v\varepsilon_{x} = \frac{v}{E}\sigma_{x}$$
2-11

$$\varepsilon_{z} = v\varepsilon_{x} = \frac{v}{E}\sigma_{x}$$

Regangan normal yang disebabkan oleh  $\sigma_y$  dan  $\sigma_z$  sama dengan regangan yang disebabkan oleh  $\sigma_x$ . Regangan normal karena adanya  $\sigma_y$ :

$$\varepsilon_{x} = \varepsilon_{z} = v\varepsilon_{y} = \frac{v}{E}\sigma_{y}$$

Sedangkan regangan normal yang disebabkan oleh  $\sigma_z$ :

$$\varepsilon_{x} = \varepsilon_{y} = v\varepsilon_{z} = \frac{v}{E}\sigma_{z}$$

Tanda negatif pada persamaan diatas menunjukkan adanya pengurangan dimensi (kontraksi). Tegangan yang bekerja pada dua sumbu (biaksial) dengan  $\sigma_z = \tau_{yx} = \tau_{zx} = 0 \text{ menghasilkan persamaan (Budynas ,1997 ; 30):}$ 

$$\varepsilon_{x} = \frac{1}{E}(\sigma_{x} - v\sigma_{y})$$

$$\varepsilon_{y} = \frac{1}{E}(\sigma_{y} - v\sigma_{x})$$

$$\varepsilon_{z} = \frac{v}{E}(\sigma_{x} + v\sigma_{y})$$
2-15a

2-15b

Jika tegangan pada ketiga sumbu bekerja secara bersamaan (tegangan aksial) maka hubungan tegangan dan regangan menjadi lebih komplek:

$$\varepsilon_{x} = \frac{1}{E} (\sigma_{x} - v(\sigma_{y} + \sigma_{z}))$$

$$\varepsilon_{y} = \frac{1}{E} (\sigma_{y} - v(\sigma_{z} + \sigma_{x}))$$

$$\varepsilon_{z} = \frac{1}{E} (\sigma_{z} - v(\sigma_{x} + \sigma_{y}))$$
2-16a
$$2-16b$$
2-16c

Bila persamaan 2-13 dan 2-14 dinyatakan sebagai tegangan maka akan didapatkan persamaan:

$$\sigma_{x} = \frac{E}{1 - v^{2}} (\varepsilon_{x} + v\varepsilon_{y})$$
 2-17a

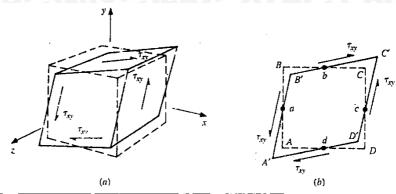
$$\sigma_{y} = \frac{E}{1 - v^{2}} (\varepsilon_{y} + v \varepsilon_{x})$$
 2-17b

Dengan cara yang sama bila persamaan 2-16a,2-16b dan 2-16c disubstitusikan maka akan menghasilkan:

$$\sigma_x = \frac{E}{(1-v)(1-2v)}((1-v)\varepsilon_x + v(\varepsilon_y + \varepsilon_z))$$
2-18a

$$\sigma_{y} = \frac{E}{(1-v)(1-2v)}((1-v)\varepsilon_{y} + v(\varepsilon_{z} + \varepsilon_{x}))$$
2-18b

$$\sigma_z = \frac{E}{(1-v)(1-2v)}((1-v)\varepsilon_z + v(\varepsilon_x + \varepsilon_y))$$
2-18c



Gambar 2.12. Regangan murni (a) kubus yang mengalami regangan geser (b) bidang yang mengalami regangan geser Sumber: Budynas ,1977: 22

Pada gambar 2.11 ditampilkan perubahan bentuk elemen yang disebabkan oleh tegangan geser. Pergeseran elemen akibat tegangan yang terjadi disebut tegangan geser (γ) ( Budynas , 1997 ; 22):

$$\gamma_{xy} = \Delta \angle BAD - \Delta \angle B'A'D'$$
 2-19

Regangan geser dinyatakan:

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}$$

$$\gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G}$$
2-20a
$$2-20b$$
2-20c

Hubungan antara elastisitas, modulus geser dan *poison ratio* (Budynas , 1977 : 22):

$$G = \frac{E}{2(1+v)}$$

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut (Weaver Jr 1989 : 11):

$$\varepsilon = C.\sigma$$

dengan:

$$C = E^{-1} \begin{bmatrix} 1 & v & v & 0 & 0 & 0 \\ v & 1 & v & 0 & 0 & 0 \\ v & v & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1-v) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1-v) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1-v) \end{bmatrix}$$
 2-22b

karena  $\sigma = E \times \varepsilon$  maka:

$$E = C^{-1} = \frac{E}{(1+v)(1-2v)} \begin{bmatrix} 1 & v & v & v & 0 & 0 & 0 \\ v & 1-v & v & 0 & 0 & 0 \\ v & v & 1-v & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2v}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2v}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2v}{2} \end{bmatrix}$$
 2-22c

# 2.6 Teori Kegagalan

Teori yang sesuai untuk dipakai dalam analisis kegagalan untuk material isotropik adalah teori energi distorsi maksimum atau dinamakan teori *Von Mises*. Teori ini menyatakan bahwa peluluhan pertama akan terjadi ketika energi distorsi per unit volume yang terjadi pada material dibawah pengaruh tegangan gabungan sama dengan energi distorsi geser dari uji tegangan tarik sederhana untuk material yang sama. Syarat luluh untuk bahan plastis secara ideal di bawah status tegangan triaksial dapat diperoleh dalam bentuk- bentuk tegangan utama.

(popov,1989:326):

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2 = 2\sigma_{yp}^2$$
 2-23

dengan:

 $\sigma_1$  = Tegangan prinsipal 1

 $\sigma_2$  = Tegangan prinsipal 2

 $\sigma_3$  = Tegangan prinsipal 3

Dengan ketentuan  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ 

Syarat agar suatu material tidak mengalami kegagalan adalah tegangan ekuivalen yang terjadi harus lebih kecil atau sama dengan tegangan luluh material

$$\sigma_{\rm e} \leq \sigma_{\rm Y}$$
 2-24

## 2.7. Konsep Metode Elemen Hingga

Bila suatu kontinum yang diamati dibagi- bagi menjadi beberapa bagian yang kecil, maka bagian- bagian kecil ini disebut sebagai elemen hingga. Proses pembagian ini dinamakan diskretisasi. Metode elemen hingga digunakan dalam memecahkan suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tak berhingga menjadi suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya manjadi lebih sederhana. Dalam beberapa hal, metode ini merupakan metode computer oriented yang harus dilengkapi dengan program yang tepat.

Tujuan utama analisis dengan metode elemen hingga adalah untuk memperoleh nilai pendekatan (bukan eksak) tegangan dan peralihan dalam suatu struktur. Hal ini dikarenakan persamaan diferensial yang harus diturunkan pada solusi eksak sangat kompleks ketika dihubungkan dengan kondisi batas (boundary condition) dan kondisi awal (initial condition). Solusi menyeluruh untuk suatu elemen merupakan penggabungan dari setiap elemen kecil.

Pendekatan terhadap fungsi kontinyu merupakan solusi dari setiap elemen. Solusi menyeluruh untuk suatu elemen merupakan gabungan (assembly) dari setiap solusi elemen tadi.

#### 2.7.1. Analisis menggunakan software yang berbasis metode elemen hingga

Software yang berbasis elemen hingga mempunyai kelebihan dalam mendeskritisasikan model dengan sangat halus, mampu memproses elemen yang banyak dan menghasilkan ketelitian yang tinggi dengan waktu yang cepat. Software yang berbasiskan metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis antara lain analisis struktural, analisis termal, analisis elektris, analisis magnetis dan analisis fluida. Secara umum langkah-langkah analisisnya dibagi menjadi tiga yaitu:

#### 1. *Preprocessing* (proses awal)

Pada proses awal ini akan dilakukan pemodelan dari benda kerja sebagai berikut:

a. Pembuatan bentuk geometri 3 dimensi.

- b. Mendefinisikan tipe elemen sesuai dengan bentuk benda kerja.
- c. Menetapkan material properties dari benda kerja.
- d. Diskritisasi model geometri menjadi elemen hingga (meshing).

# **2.** *Solution* (proses solusi)

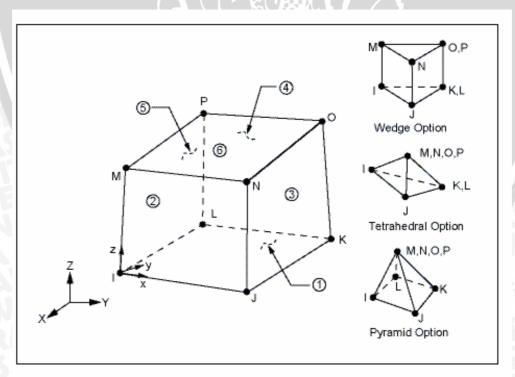
Pada tahap ini mendefinisikan jenis analisis yang akan dipakai, memasukan kondisi batas (*constrain*), menerapkan pembebanan, dan inisialisasi penyelesaian elemen hingga.

# 3. Postprocessing (proses pembacaan hasil)

Pada tahap ini menampilkan pembacaan hasil analisis dari proses solusi dalam bentuk tabel maupun dalam bentuk plot kontur warna pada model.

## 2.7.2 Elemen Solid 164- 3D

Elemen *Solid 164 - 3D* digunakan pada pemodelan 3 dimensi pada permasalahan struktural. Bentuk dasar elemen ini terdiri atas 8 node yang membentuk balok dan memiliki derajat kebebasan pada tiap node berupa perpindahan translasi, kecepatan dan percepatan. Namun dalam pemakaiannya dapat menggunakan pilihan bentuk elemen, yaitu prisma, tetahedral, dan piramid dengan diikuti oleh degenerasi pada susunan node. Susunan node pada tiap bentuk elemen *Solid 164 – 3D* dapat pilihat pada gambar 2.12 :



Gambar 2.13. Elemen *Solid 164 – 3D* Sumber: *Ansys 10.0 Tutorial* 

# 2.8. Hipotesis

Perhitungan defleksi dengan rumusan teoritis dipengaruhi oleh tebal dan lebar penampang *spring*. Ukuran dan bentuk penampang berpengaruh pada momen inersia. Tebal penampang memiliki perpangkatan lebih besar daripada lebar penampang. Sedangkan momen inersia berbanding terbalik dengan defleksi. Sehingga hipotesis pada penelitian ini adalah semakin besar perbandingan tebal dan lebar penampang maka defleksi semakin kecil sehingga kekakuan *wave spring* semakin tinggi.



#### BAB III

#### **METODOLOGI**

# 3.1. Metode Penelitian

Metode yang dipakai untuk menyelesaikan penelitian ini adalah metode eksperimental semu dengan analisis metode elemen hingga.

# 3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di Studio Perencanaan dan Rekayasa Sistem Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Januari 2006 sampai dengan selesai.

# 3.3. Alat dan Bahan yang Digunakan

Peralatan yang dipakai pada penelitian ini adalah:

- Perangkat komputer dengan spesifikasi:
  - Processor Intel Pentium 4 2,4 Gb
  - Memori 512 Mb
- Jangka sorong *digital*

#### 3.4. Tahap-Tahap Proses Analisis

Analisis dilakukan dengan beberapa tahapan proses. Urutan proses yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Pustaka

Agar dapat mendukung analisis yang dilakukan, perlu dilakukan pencarian informasi yang diperlukan pada literatur yang telah ada. Dalam hal ini penulis melakukan studi pustaka pada Perpustakaan Universitas Brawijaya dan Perpustakaan Jurusan Mesin, serta dari jurnal-jurnal yang didapatkan dari internet.

2. Pengambilan data yang dilakukan dalam proses analisis

Data yang dipakai berasal dari *website* dan katalog *Smalley Steel Ring Company* serta pengukuran spesimen secara langsung.

Data yang dipakai adalah sebagai berikut :

#### a. Variabel bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang nilainya bebas ditentukan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- Perbandingan tebal dengan lebar penampang wave spring:

Spesimen I : 0,2387

Spesimen II : 0,17528

Spesimen III: 0,1218

Pembebanan : 100 N  $\approx$  22,48089 lbs pada tiap spesimen dengan mekanisme punch dan dies.

#### b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari nilai variabel bebas. Variabel terikat penelitian ini adalah:

- Kekakuan wave spring.
- Distribusi tegangan.

#### c. Variabel kendali

Variabel kendali adalah variabel yang dapat dikontrol parameternya atau dengan kata lain variabelnya dapat ditentukan sendiri. Penelitian ini menggunakan veriabel kendali:

- Jenis wave spring : putaran banyak tipe Nested Spirawave

- Bahan wave spring : 17-7 PH/ C Stainless Steel AMS- 5529

- Jumlah Putaran (Z) : 2 buah.

- Diameter Luar (OD) :  $51,26 \text{ mm} \approx 2,0173 \text{ in.}$ 

- Jumlah Gelombang (N) : 4

- Tinggi Bebas (H) : 5 mm  $\approx$  0,196 in.

 $2 \times 10^5 \approx 29.5 \times 10^6 \text{ psi.}$ - Modulus Elastisitas (E)

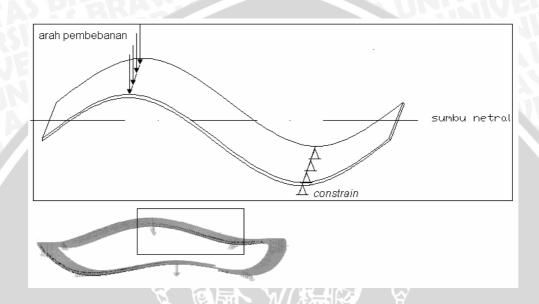
- Tegangan luluh ( $\sigma y$ ) : 1,654 x 10<sup>3</sup> N/mm<sup>2</sup>  $\approx$  2,4 x 10<sup>5</sup> psi.

- Poisson ratio : 0,30

- Faktor Koreksi (K) : 3,88 dan 2,90

#### 3. Pemodelan wave spring

Berdasarkan data yang telah diperoleh, kemudian dilakukan pemodelan geometri wave spring tipe nested spirawave dengan tujuan untuk memudahkan dalam proses analisis. Pada ketiga spesimen yang dimodelkan, semuanya diberikan pembebanan dan *constrain* yang sama, hanya ukuran penampang material *wave spring* yang berbeda pada tiap benda yang diuji. *Wave spring* dimodelkan dengan bantuan *software* yang berbasis pada metode elemen hingga dengan pembebanan merata pada puncak gelombang dan pemberian kondisi batas yaitu sebuah penahan di tiap lembah gelombang, seperti terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Pemodelan pada wave spring

# 4. Pembebanan

Pembebanan yang dilakukan adalah pembebanan statik dengan arah aksial searah dengan sumbu Z negatif. Pembebanan sebesar  $100 \text{ N} \approx 22,48089$  lbs pada tiap spesimen.

## 5. Analisis defleksi dan tegangan

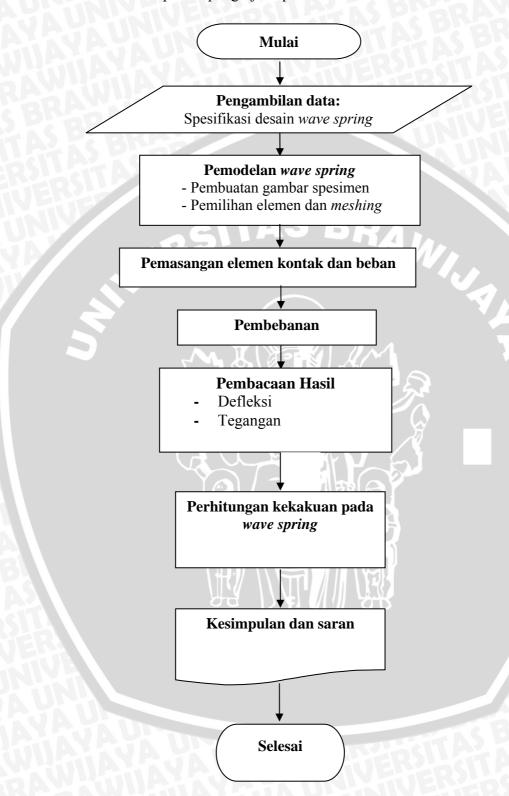
Analisis defleksi dan distribusi tegangan dan regangan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* yang berbasis metode elemen hingga.

#### 6. Hasil analisis

Hasil analisis berupa plot gambar maupun tabel perpindahan dan tegangan pada wave spring tipe nested spirawave. Dari data yang dihasilkan tersebut dilakukan pembahasan mengenai pengaruh perbandingan lebar dan tebal penampang terhadap karakteristik kekakuan pegas dengan menggunakan referensi yang berkaitan dengan hasil dan permasalahan yang dihadapi. Kemudian dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil analisis.

# 3.5. Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah urutan proses pengerjaan penelitian :



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

# **BAB IV** PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

# 4.1 Spesifikasi Spesimen

Spesimen yang dipakai dalam penelitian adalah 3 buah model wave spring putaran banyak tipe nested spirawave. Pada gambar 4.1 ditunjukkan istilah- istilah yang terdapat pada wave spring, sedangkan ukuran yang sama pada tiap spesimen adalah sebagai berikut:

Jenis : Nested Spirawave.

Jumlah Putaran (Z) : 2 buah.

Diameter Luar (OD) : 51,26 mm  $\approx$  2,0173 in.

Tinggi Bebas (H) : 5 mm  $\approx$  0,196 in.

Jumlah Gelombang (N): 4

BRAWIUA Material : 17-7 PH/ Stainless Steel (AMS-5529).

Modulus Elastisitas (E) :  $2 \times 10^5 \approx 29.5 \times 10^6 \text{ psi}$ .

 $: 1,654 \times 10^3 \text{ N/mm}^2 \approx 2,4 \times 10^5 \text{ psi}.$ Tegangan luluh

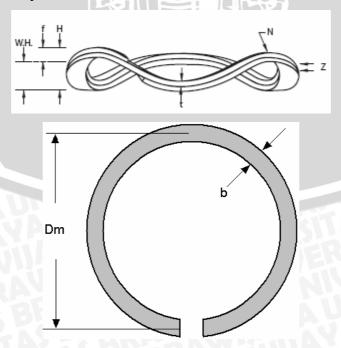
:  $7.8 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ . **Densitas** 

: 0,30 Poisson ratio

Faktor gelombang (K) : 3,88 dan 2,90

Faktor gesekan : 0,05

Sumber: www.smalley.com



# Gambar 4.1. Ukuran dalam wave spring

Sumber: www.smalley.com

Data yang berbeda pada tiap spesimen terdapat pada tabel 4.1:

Tabel 4.1. Ukuran Spesimen

Benda	ID (in)	Dm (in)	t (in)	b (in)	t/b
I	1,7826	1,8999	0,028	0,1173	0,2387
II	1,7434	1,8803	0,024	0,1369	0,1753
III	1,6888	1,853	0,020	0,1542	0,1218

# 4.2. Perhitungan Secara Teoritis

Beban yang diberikan sebesar 22,48089 lbs pada masing- masing pemodelan. Perhitungan teoritis merupakan nilai empiris dan merupakan pendekatan pengujian sebenarnya, faktor pengali yang terlalu umum dapat menimbulkan perbedaan yang cukup besar terhadap hasil pemodelan. Nilai defleksi yang sebenarnya didekati dengan melakukan perhitungan defleksi sebanyak dua kali. Pertama adalah dengan menggunakan nilai faktor pengali (K) sebesar 3,88 dan berikutnya adalah dengan faktor pengali sebesar 2,90. Sedangkan perhitungan tegangan hanya dilakukan satu kali.

# 4.2.1. Perhitungan Tegangan dan Defleksi

Tegangan yang terjadi pada benda I saat menerima pembebanan sebesar 22,48089 lbs adalah (persamaan 2.3):

$$S = \frac{3\pi PD_{m}}{4bt^{2}N^{2}Z} = \frac{3.3,14.22,48089.1,8999}{4.0,1173.(0,028)^{2}.(4)^{2}.2}$$
$$= 34179,92 \text{ psi} \approx 235,79 \text{ N/mm}^{2}.$$

Kemudian defleksi searah aksial yang terjadi dengan nilai K = 3,88 sebesar (persamaan 2.4):

$$f = \frac{PKD_{m}^{3}}{Ebt^{3}N^{4}Z} \times \frac{I.D}{O.D} = \frac{22,48089.3,88.(1,8999)^{3}}{29,5.10^{6}.0,1173.(0,024)^{3}(4)^{4}(2)} \times \frac{1,7826}{2,0173}$$

$$= 0.0138 \text{ in} \approx 0.3512 \text{ mm}.$$

Dengan demikian diperoleh prosentase defleksi yang terjadi sebesar:

$$\frac{f}{H - 2t} \times 100\% = \frac{0,0138}{0,196 - 2.(0,028)} \times 100\%$$
$$= 9,707\%$$

BRAWIJAYA

Sedangkan defleksi searah aksial yang terjadi dengan nilai K = 2,90 sebesar (persamaan 2.4):

$$f = \frac{PKD_{m}^{3}}{Ebt^{3}N^{4}Z} \times \frac{I.D}{O.D} = \frac{22,48089.2,90.(1,8999)^{3}}{2,95.10^{6}.0,1173.(0,028)^{3}(4)^{4}(2)} \times \frac{1,7826}{2,0173}$$
$$= 0,0103 \text{ in } \approx 0,262 \text{ mm}.$$

Dengan demikian diperoleh prosentase defleksi yang terjadi sebesar:

$$\frac{f}{H - 2t} \times 100\% = \frac{0,0103}{0,196 - 2.(0,028)} \times 100\%$$
$$= 7,336 \%$$

Pembebanan sebesar 100 N pada benda II menghasilkan tegangan sebesar (persamaan 2.3):

$$S = \frac{3\pi PD_{m}}{4bt^{2}N^{2}Z} = \frac{3.3,14.22,48089.1,8803}{4.0,1369.(0,024)^{2}.(4)^{2}.2}$$
$$= 39450,78 \text{ psi} \approx 271,549 \text{ N/mm}^{2}.$$

defleksi yang terjadi dengan nilai K = 3,88 sebesar (persamaan 2.4):

$$f = \frac{PKD_{m}^{3}}{Ebt^{3}N^{4}Z} \times \frac{I.D}{O.D} = \frac{22,48089.3,88.(1,8803)^{3}}{29,5.10^{6}.0,1369.(0,024)^{3}(4)^{4}(2)} \times \frac{1,7434}{2,0173}$$

$$= 0.0177 \text{ in} \approx 0.452 \text{ mm}.$$

maka prosentase defleksi yang terjadi:

$$\frac{f}{H - 2t} \times 100\% = \frac{0,0177}{0,196 - 2.(0,0,024)} \times 100\%$$
$$= 11.84 \%$$

defleksi yang terjadi dengan nilai K = 2,9 sebesar (persamaan 2.4):

$$f = \frac{PKD_m^{\ 3}}{Ebt^3N^4Z} \times \frac{I.D}{O.D} = \frac{22,48089.2,90.(1,8803)^3}{29,5.10^6.0,1369.(0,024)^3(4)^4(2)} \times \frac{1,7434}{2,0173}$$

$$= 0.01346 \text{ in} \approx 0.342 \text{ mm}.$$

maka prosentase defleksi yang terjadi:

$$\frac{f}{H - 2t} \times 100\% = \frac{0,01346}{0,196 - 2.(0,024)} \times 100\%$$
$$= 8.85\%$$

Pembebanan 100 N yang diberikan pada benda III mengkibatkan terjadinya tegangan sebesar (persamaan 2.3):

$$S = \frac{3\pi PD_{m}}{4bt^{2}N^{2}Z} = \frac{3.3,14.22,48089.1,8530}{4.0,1642.(0,02)^{2}.(4)^{2}.2}$$

$$= 46676,33 \text{ psi} \approx 321,910 \text{ N/mm}^2.$$

didapatkan juga nilai defleksi dengan nilai K = 3,88 sebesar (persamaan 2.4):

$$f = \frac{PKD_{m}^{3}}{Ebt^{3}N^{4}Z} \times \frac{I.D}{O.D} = \frac{22,48089.3,88.(1,8530)^{3}}{29,5.10^{6}.0,1642.(0,02)^{3}(4)^{4}(2)} \times \frac{1,6888}{2,0173}$$

$$= 0.0238 \text{ in} \approx 0.605 \text{ mm}$$

dengan prosentase defleksi sebesar:

$$\frac{f}{H - 2t} \times 100\% = \frac{0,0238}{0,196 - 2.(0,02)} \times 100\%$$
$$= 15,01\%$$

didapatkan juga nilai defleksi dengan nilai K = 2,90 sebesar (persamaan 2.4):

$$f = \frac{PKD_{m}^{3}}{Ebt^{3}N^{4}Z} \times \frac{I.D}{O.D} = \frac{22,48089.2,90.(1,8530)^{3}}{29,5.10^{6}.0,1642.(0,02)^{3}(4)^{4}(2)} \times \frac{1,6888}{2,0173}$$

$$= 0.0178 \text{ in} \approx 0.4522 \text{ mm}$$

dengan prosentase defleksi sebesar:

$$\frac{f}{H - 2t} \times 100\% = \frac{0,0178}{0,196 - 2.(0,02)} \times 100\%$$
$$= 11.35\%$$

## 4.2.2. Perhitungan Ekspansi Diameter Maksimal

Pembebanan Searah aksial pada wave spring tipe nested mengakibatkan terjadinya ekspansi diameter. Diameter maksimal terjadi saat *wave spring* telah mencapai kondisi mampat (*solid height*). Pada kondisi ini pegas mencapai defleksi maksimal. Diameter maksimum yang dapat terjadi pada spesimen I adalah:

$$Ds = 0.02222 \times R \times N \times \theta + b$$

kemudian diameter maksimal pada spesimen II adalah:

$$Ds = 0.02222 \times R \times N \times \theta + b$$

 $= 0.02222 \times 0.8317 \times 4 \times 26.3389 + 0.1369$ 

= 2.083912 in.

dan diameter maksimal pada spesimen III sebesar:

$$Ds = 0.02222 \times R \times N \times \theta + b$$

 $= 0.02222 \times 0.795 \times 4 \times 27.31995 + 0.1542$ 

= 2,084617 in.

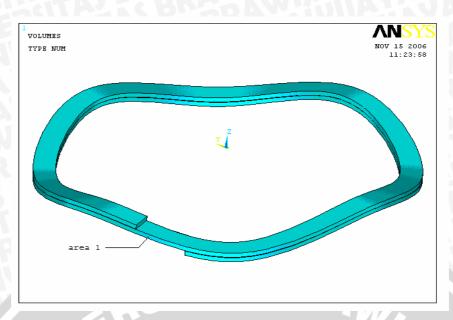
Ekspansi diameter ketiga benda tertera pada table 4.2.

Tabel 4.2. Pertambahan Diameter Hasil Perhitungan Teoritis

		Diameter Awal	diameter akhir	4.
Benda	Beban	(in)	(in)	ekspansi diameter (in)
I	22,48089	2,0173	2,08024	0,06294
II	22,48089	2,0173	2,083912	0,06661
III	22,48089	2,0173	2,084617	0,06687

## 4.3. Analisis Menggunakan Software Berbasis Metode Elemen Hingga

Setelah diperoleh data tiap spesimen selanjutnya dilakukan pembuatan geometri dalam bentuk gambar 3 dimensi. Bentuk spesimen wave spring jenis nested spirawave cukup rumit maka pembentukan geometri dilakukan dalam 2 tahap. Tahap pertama adalah pembuatan area 1 dengan menggunakan software CAD. Kemudian gambar diekspor ke software berbasis metode elemen hingga dengan format IGES.. Proses modelling menghasilkan 12 garis, 6 area dan 1 volume. Plot volume spesimen terlihat pada gambar 4.2:



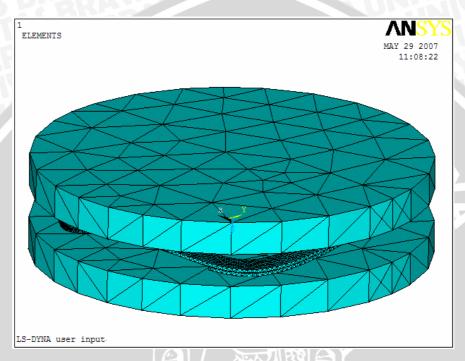
Gambar 4.2. Plot volume spesimen setelah terbentuk

# 4.3.1. Proses awal (*Preprocessing*)

Karena spesimen dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi dan analisis yang dilakukan adalah struktural maka dipilih elemen 3D Solid 164 dengan bentuk elemen Tetahedral. Elemen tersebut dipilih karena dapat mempermudah proses meshing dan memungkinkan untuk dilakukan analisis tegangan dan defleksi pada pemodelan benda solid 3 dimensi. Pada material properties didefinisikan 3 bagian pemodelan. Pertama adalah bagian punch yang merupakan rigid material, kedua adalah dies yang didefinisikan sebagai rigid material dan yang ketiga adalah linear elastic isotropic material dengan dimasukkan konstanta material yaitu modulus elastisitas (E) sebesar 200.000 N/mm<sup>2</sup>, densitas sebesar 7,8E-6 Kg/mm<sup>3</sup> dan poison ratio sebesar 0,3. Selanjutnya adalah tahap *meshing process*, yaitu membagi model dalam elemen- elemen kecil yang tiap elemen tersebut memiliki sejumlah node. Untuk mendapatkan hasil meshing yang cukup halus maka dipilih smart meshing dengan ukuran 2 sedangkan untuk punch dan dies dipilih ukuran 6, ukuran meshing pada punch dan dies sekasar itu tidak berpengaruh pada hasil simulasi karena distribusi gaya terhadap pegas dilakukan dalam bentuk kontak permukaan dan bukan antar node. Jumlah node tiap elemen sebanyak 8 buah.

Pada pemodelan I dihasilkan elemen sebanyak 9.029 buah dengan jumlah node 3.862 buah. Selanjutnya benda II dihasilkan elemen sebanyak 12.610 buah dengan jumlah node 5.155 buah, dan pada benda III dihasilkan elemen sebanyak 20.888 buah dengan jumlah node 8.084 buah. Kondisi benda setelah dilakukan tahapan meshing dapat dilihat pada gambar 4.3. Untuk tahap akhir preprocessing dilakukan pemilihan

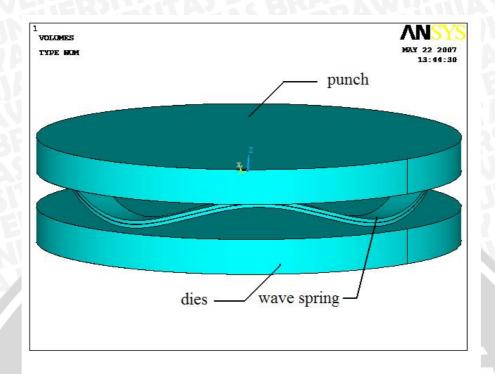
elemen kontak pada menu *define contact*. Elemen kontak digunakan sebagai bentuk interaksi sekaligus distribusi gaya yang terjadi antar lapis pegas dan bagian lain yang bersinggungan. Karena interaksi yang mungkin terjadi adalah antar permukaan maka pada pemodelan ini dipakai *Automatic Surface To Surface (ASTS)*. Elemen kontak dikenakan pada hubungan antara bagian *punch* dengan pegas, pegas dengan *dies* dan antar lapisan pegas sendiri.



Gambar 4.3. Spesimen setelah meshing

#### **4.3.2. Proses Solusi (Solution)**

Pada tahap ini dilakukan penempatan gaya- gaya dan kondisi batas pada model setelah *preprocessing*. Gaya- gaya yang dikenakan adalah gaya aksial searah sumbu z negatif dengan nilai yang tetap pada tiap model. Gaya dikenakan dalam bentuk penekanan pegas dengan input gaya (RBFZ) sebesar 100 N. Agar distribusi gaya menyerupai kondisi pengujian yang sebenarnya maka gaya dimodelkan berupa sebuah silinder kaku. Kondisi batas (constrain) diberikan dengan ditempatkannya sebuah silinder kaku di bawah pegas dan menempel pada lembah gelombang pegas. Hal ini dilakukan untuk menjaga model tetap tertumpu pada bagian bawah lembah gelombang lapisan terbawah dan hanya bisa bergerak bebas dengan arah sumbu x dan y saja. Sehingga spesimen bisa mengembang dengan penambahan ukuran diameter. Pemodelan sampai pada tahap ini dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Penempatan gaya dan kondisi batas pada model

# 4.3.3. Proses Pembacaan Hasil (Postprocessing)

Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk plot kontur warna dan *listing* data. komposisi sebaran warna yang muncul menunjukkan hasil pada daerah tersebut. Sedangkan listing data menyajikan hasil simulasi dalam bentuk angka pada tiap node dan elemen.

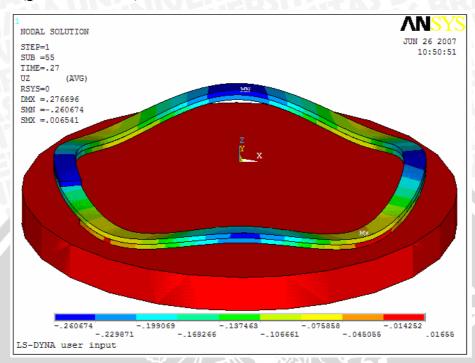
## 4.3.3.1. Defleksi pada Hasil Simulasi

Nilai defleksi yang dapat ditampilkan pada pembacaan hasil ada 4 macam, yaitu defleksi arah sumbu x, sumbu y, sumbu z dan defleksi total yang merupakan nilai resultan dari ketiga sumbu. Namun sebagai bahan perhitungan nilai kekakuan, dipakai defleksi searah sumbu z saja sesuai dengan teori kekakuan wave spring. Nilai defleksi pada beban 100 N terhadap ketiga spesimen ditampilkan pada tabel 4.3.

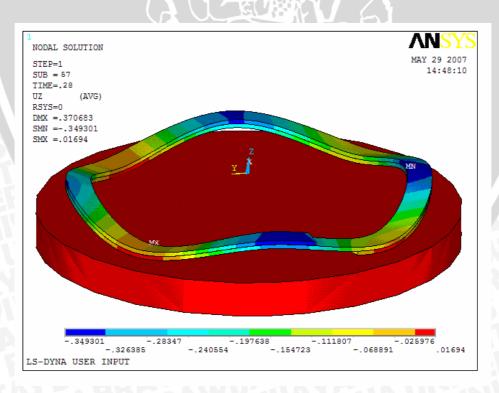
Tabel 4.3. Defleksi searah sumbu z pada tahap pembebanan 100 N.

Spesimen	Beban (N)	Defleksi (mm)	Node
I	100	-0,2606	1443
II	100	-0,3493	1800
III	100	-0,4159	674

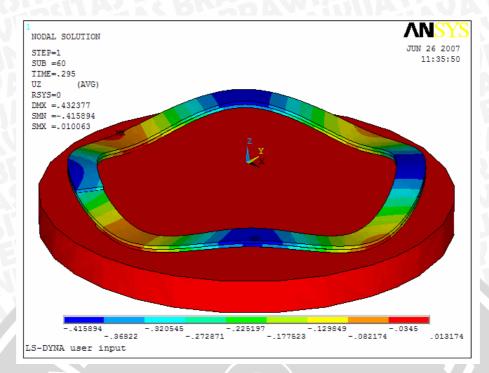
Nilai negatif menunjukkan bahwa defleksi terjadi ke arah bawah sumbu z. Berikut adalah plot kontur defleksi pada tiap tahap pembebanan maksimal masing- masing spesimen (gambar 4.5 - 4.7):



Gambar 4.5. Plot Kontur Defleksi pada Pembebanan 100 N terhadap spesimen I



Gambar 4.6. Plot Kontur Defleksi pada Pembebanan 100 N terhadap spesimen II



Gambar 4.7. Plot Kontur Defleksi pada Pembebanan 100 N terhadap spesimen III

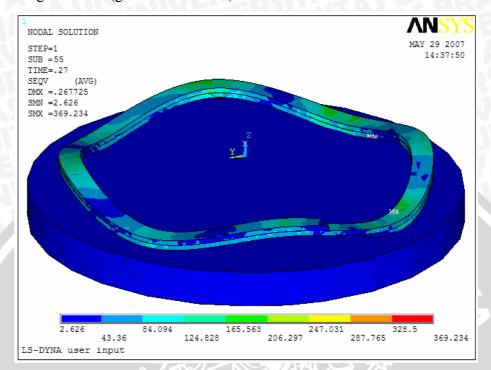
# 4.3.3.2. Tegangan Pada Hasil Simulasi

Proses pembacaan hasil juga menyajikan besar tegangan yang terjadi pada spesimen sebagai akibat pembebanan. Hasil yang diambil pada simulasi *wave spring* adalah tegangan *Von Misses*. Data tegangan *Von Misses* dapat menunjukkan besar pembebanan maksimal yang bisa diberikan terhadap spesimen sekaligus batas tahapan pembebanan agar spesimen tidak mengalami kegagalan. Berikut adalah nilai tegangan *Von Misses* pada pembebanan 100 N (tabel 4.4).

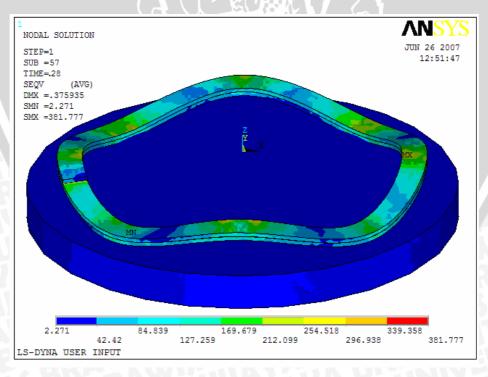
Tabel 4.4. Tegangan Von Misses pada Pembebanan 100 N

Spesimen	Beban (N)	Tegangan (N/mm2)	Node
I	100	369,234	1130
II	100	381,777	1743
III	100	469,939	1925

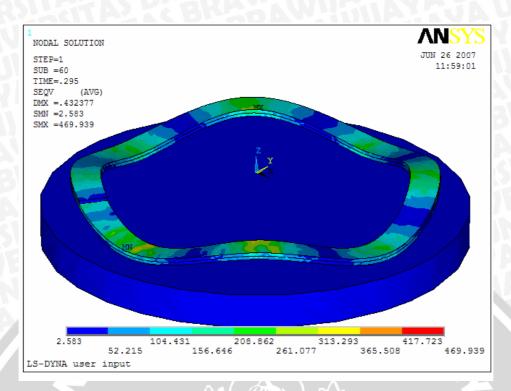
Kemudian data- data tegangan pada tiap tahap pembebanan disajikan pada lampiran. Hasil plot kontur tegangan *Von Mises* pada tiap spesimen ketika diberikan tegangan adalah sebagai berikut (gambar 4.8 - 4.10):



Gambar 4.8. Plot Kontur Tegangan pada Pembebanan 100 N terhadap spesimen I



Gambar 4.9. Plot Kontur Tegangan pada Pembebanan 100 N terhadap spesimen II



Gambar 4.10. Plot Kontur Tegangan pada Pembebanan 100 N terhadap spesimen III

#### 4.4. Analisis Kekakuan Hasil Simulasi

Nilai kekakuan merupakan rasio perbandingan antara beban yang dikenakan dengan defleksi yang terjadi. Defleksi yang terjadi pada *wave spring* adalah searah aksial dan radial, namun untuk perhitungan kekakuan pegas maka hanya digunakan defleksi aksial, yaitu defleksi searah sumbu z saja. Nilai kekakuan rata- rata tiap spesimen dari hasil simulasi tertera pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Kekakuan Rata-rata Spesimen Hasil Simulasi

			I A B 6-517
	Benda1	Benda2	Benda3
Beban (N)	100	100	100
Defleksi (mm)	0,260	0,349	0,415
Kekakuan (N/mm)	383,69	286,286	240,4459

#### 4.5. Pembahasan

## 4.5.1. Defleksi Pada Wave Spring

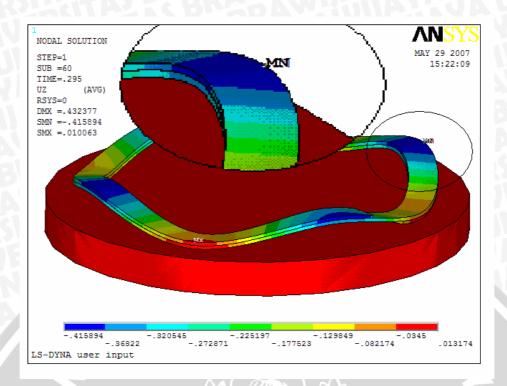
Pembebanan arah aksial pada *wave spring* tipe *nested spirawave* mengakibatkan terjadinya defleksi. Terdapat 2 macam defleksi yang terjadi yaitu defleksi searah aksial dan radial. Defleksi aksial disebabkan oleh arah pembebanan yang searah sumbu benda sedangkan defleksi arah radial terjadi karena bentuk *wave spring* yang beradius

membentuk gelombang mengalami perubahan bentuk mendekati garis horizontal (ekspansi diameter) saat dikenakan beban. Perhitungan teoritis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan besar defleksi yang terjadi pada ketiga benda. Pemakaian konstanta pengali pada wave spring berdampak cukup signifikan terhadap nilai defleksi. Pada Simulasi menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga, defleksi digambarkan sebagai perpindahan node dalam elemen. Perpindahan node bersifat bebas ke segala arah pada seluruh pemodelan. Ketika beban diberikan pegas melendut dan mengalami pertambahan diameter. Pertambahan perpindahan node pada ketiga spesimen berselisih cukup besar terhadap defleksi hasil perhitungan teoritis dengan nilai K=3,88, namun nilainya mendekati parhitungan teoritis dengan konstanta pengali K= 2,9. Selisih tersebut merupakan dampak dari data empiris yang menggunakan faktor pengali global pada perhitungan teoritis dan penambahan faktor gesekan pada simulasi. Besar defleksi dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Defleksi Hasil Perhitungan Teoritis dengan Hasil Simulasi

		Defleksi (mm)			
D 4 -	Beban	T:4:- (V-2.00)	T	C:1:	Selisih
Benda	(N)	Teoritis (K=3,88)	Teoritis (K=2,9)	Simulasi	(%)
I	100	0,35118	0,262	0,260	0,1856
II	100	0,45219	0,33798	0,349	1,102
III	100	0,60501	0,4522	0,415	3,72

Beban yang dikenakan berupa *punch* terhadap pegas dengan besar 100 N. Namun nilai defleksi yang terjadi besarnya berbeda- beda pada tiap bagian wave spring. Defleksi terbesar terletak pada bagian puncak gelombang. Kondisi tersebut digambar oleh plot warna biru tua. Persebaran konsentrasi defleksi hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11. Kontur Defleksi pada Puncak Gelombang saat Pembebanan.

Terjadinya intensitas defleksi yang besar pada puncak gelombang disebabkan beban *punch* yang mengenai puncak gelombang dan jarak puncak gelombang terhadap tumpuan pegas yang lebih jauh sehingga berakibat adanya efek momen yang lebih besar daripada bagian yang lain. Sebaran warna merah adalah posisi terjadinya defleksi yang kecil. Hal ini disebabkan karena posisi tersebut telah mendekati tumpuan pada dasar lembah gelombang. Dimana posisi tersebut bersentuhan dengan dies yang membatasi perpindahan ke arah sumbu Z negatif. Selanjutnya sebaran warna lain menunjukkan defleksi sesuai angka pada *colour bar*.

#### 4.5.2. Tegangan Pada Wave Spring

Hasil perhitungan tegangan secara teoritis adalah nilai tegangan bending wave spring secara global. Sehingga nilai tegangan maksimum terdapat pada puncak gelombang dan lembah gelombang. Hasil perhitungan teoritis menunjukkan bahwa pembebanan pada wave spring tipe nested spirawave berdampak pada besarnya tegangan yang terjadi. Hubungan antara beban dengan besar tegangan yang terjadi adalah linear positif.

Tegangan yang terjadi pada hasil simulasi menunjukkan kecenderungan yang sama.

Tegangan pada masing- masing benda tertera pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Tegangan Teoritis dan Simulasi

744	AUL	Tegangan		SATALK
	Beban	Teoritis	Simulasi	RERSILE
Spesimen	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	$(N/mm^2)$	node
I	100	235,718	230,00	1631
II	100	271,549	265,214	1655
III	100	321,910	299,657	2297

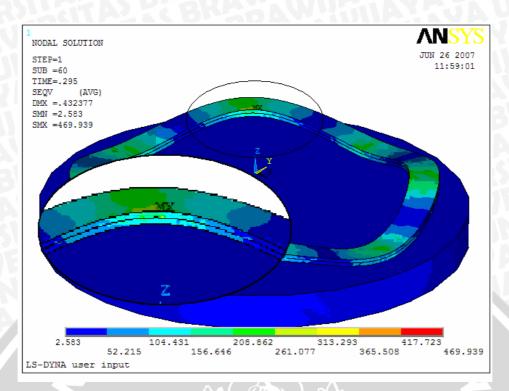
Pada *postprocessing* simulasi juga diperoleh hasil tegangan *Von Mises*. Pemberian beban juga mengakibatkan nilai tegangan *Von Mises* yang berbeda- beda pada tiap benda. Berikut adalah nilai tegangan *Von Mises* pada ketiga benda yang tertera pada tabel 4.8:

Tabel 4.8. Tegangan Von Misses pada Beban 100 N Simulasi.

	R	Tegangan	
Spesimen	Beban (N)	$(N/mm^2)$	Node
I	100	369,234	1130
II	100	381,777	1743
III	100	469,939	1925

Tegangan *Von Mises* berfungsi dalam menjaga kondisi pegas dari kegagalan. Beban harus dihentikan saat nilai Tegangan *Von Mises* telah mendekati nilai tegangan luluh material. Kegagalan terjadi apabila tegangan *Von Misses* telah melebihi tegangan *yield*. Namun pada pemodelan dengan beban 100 N, kegagalan tidak terjadi karena besar tegangan *Von Mises* masih jauh dari tegangan luluh material.

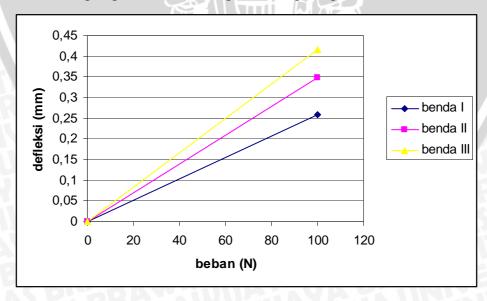
Posisi konsentrasi tegangan *Von Mises* terbesar terletak di bagian diameter dalam puncak gelombang. Hal ini terjadi karena pada bagian tersebut terjadi kontak langsung antara pegas dengan *punch* dan diperbesar lagi oleh tegangan tarik akibat ekspansi diameter. (gambar 4.12.).



Gambar 4.12. Tegangan Von Misses Maksimal Hasil Simulasi

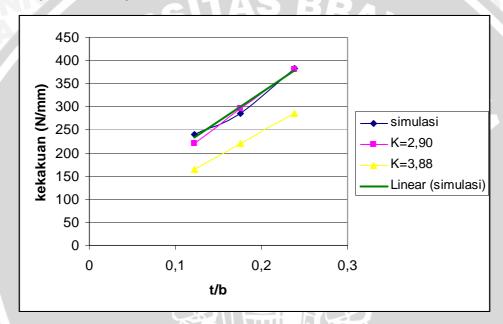
#### 4.5.3. Analisis Kekakuan

Nilai kekakuan pegas adalah perbandingan antara beban yang diberikan terhadap defleksi arah aksial yang terjadi. Pada ketiga spesimen pengujian terlihat bahwa pemberian beban 100 N berpengaruh terhadap terjadinya defleksi. Namun terdapat perbedaaan pada kemiringan kurva kekakuan pada masing- masing spesimen. Perbedaan kemiringan garis kekakuan dapat dilihat pada gambar 4.13:



Gambar 4.13. Grafik Perbandingan Defleksi Ketiga Spesimen Pemodelan

Kemiringan kurva kekakuan pada benda I terhadap sumbu x membentuk sudut terbesar terhadap sumbu horizontal daripada benda II dan benda III dengan gradien yang terbentuk sebesar 0,0026 dan merupakan nilai kekakuan terbesar. Pada benda II diketahui besar gradien 0,00349. Kurva kekakuan benda III membentuk sudut paling besar dengan gradien 0.00415 dan merupakan nilai kekakuan terkecil. Sudut terkecil menunjukkan bahwa spesimen I lebih kaku daripada benda II dan benda III. Nilai kekakuan benda III adalah nilai yang terkecil daripada benda I dan bendaII. Dari data kekakuan masing- masing spesimen diketahui bahwa perbandingan antara lebar dengan tebal penampang material *wave spring* tipe *nested spirawave* berpengaruh terhadap kekakuan (Gambar 4.14).



Gambar 4.14. Grafik Pengaruh Perbandingan Tebal dan Lebar Material Terhadap Kekakuan *Wave Spring* 

Kurva berwarna kuning adalah kurva hubungan perbandingan tebal dan lebar penampang pegas terhadap kekakuan dengan perhitungan teoritis (K=3,88), gradien kemiringan sebesar 1086,85. Garis berwarna merah muda adalah kurva hubungan perbandingan tebal dan lebar penampang pegas terhadap kekakuan dengan perhitungan teoritis (K=2,9), gradien kemiringannya sebesar 1456,792 dan garis warna biru adalah kurva hubungan perbandingan tebal dan lebar penampang pegas terhadap kekakuan hasil simulasi, gradien kemiringannya sebesar 1464,466.

Pada Grafik 4.14 digambarkan bahwa semakin besar perbandingan antara tebal dan lebar material *wave spring* berdampak pada naiknya kekakuan pegas. Diartikan juga bahwa perubahan ketebalan material *wave spring* berdampak lebih besar terhadap

kekakuannya bila dibandingkan dengan perubahan lebar material. Hal ini sesuai dengan hubungan terbalik antara defleksi dengan momen inersia penampang pegas. Pada luasan penampang yang sama pengaruh ketebalan berdampak pada momen inersia yang lebih besar dan menurunkan defleksi, yang berarti naiknya kekakuan *wave spring*.



# BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1. Pada luasan penampang yang sama semakin besar perbandingan antara tebal terhadap lebar dari material wave spring tipe Nested Spirawave maka defleksi yang terjadi semakin kecil dan berarti kekakuan wave spring semakin besar. Benda III dengan perbandingan antara tebal dan lebar sebesar 0,1218 memiliki kekakuan sebesar 240,4459 N/mm, Benda II dengan perbandingan antara tebal dan lebar sebesar 0,1753 memiliki kekakuan sebesar 286,286 N/mm, sedangkan benda I dengan perbandingan antara tebal dan lebar 0,2387 memiliki kekakuan sebesar 383,69 N/mm.
- 2. Tegangan Von Mises maksimal terjadi di puncak gelombang. Tegangan Von Mises terbesar terjadi pada benda III yaitu sebesar 469,939 N/mm<sup>2</sup>. Benda II mempunyai tegangan Von Mises sebesar 381,777 N/mm² dan Tegangan Von Mises terkecil terjadi pada benda I yaitu sebesar 369,234 N/ mm<sup>2</sup>.

#### 5.2. Saran

Dari penelitian ini dapat diberikan saran sebagai berikut:

- 1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor pengali gelombang agar hasil perhitungan secara teoritis dapat memperoleh hasil yang lebih akurat.
- 2. Karena wave spring memiliki jenis yang bervariasi maka perlu dilakukan penelitian mengenai jenis yang lain dengan variable lain pula.
- 3. Metode pembebanan pada pemodelan *wave spring* 3D sebaiknya berupa kontak permukaan dengan *punch* dan *dies* agar mendekati kondisi sebenarnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Budynas, Richard G. 1977. *Advance Strength and Applied Stress Analysis*. London: Mc.Graw-Hill Koagasuka.
- Collins, J.A. 1981. *Failur of Materials in Mechanical Design*. Second Edition. New york: John Willey & Spons Inc.
- Erowadi, Donny. 2005. Analisa Pengaruh Perbandingan Lebar (Radial Wide Of Wall) dengan Tebal (Thickness Of Material) terhadap Karakteristik Wave Spring tipe Crest To Crest menggunakan Metode Elemen Hingga. Skripsi Tidak Diterbitkan, Malang: Jurusan Mesin FT Unibraw.
- George, E. Dieter. 1988. *Mechanical Metalurgy*. Edisi Ketiga. Terjemahan Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
- Gere, James. M danTimoshenko, S.P. 1996. *Mekanika Bahan*. Edisi Kedua, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Maoveni, Saeed. 1999. *Finite Element Analysis: Theory and Aplication with ANSYS*. New Jersey: Prentice Hall inc.
- Smalley®. 2002. Engineering & Parts Catalog: Spirawave® Wave Spring, Flat Wire Compression Springs. Lake Zurich- Illinois 60047: Smalley® Steel Ring Company. <a href="http://www.smalley.com">http://www.smalley.com</a>.
- Smith, F William. 2004. *Foundation of Material Science and Engineering*. Third Edition, London: Mc.Graw-Hill.
- Weaver, William Jr dan Johnston, Paul R.1989. *Elemen Hingga Untuk Analisa Struktur*. Cetakan Pertama. Bandung: Penerbit Eresco.
- Popov, E.P. 1989. *Mekanika Teknik*. Edisi Kedua, Jakarta: Penerbit Erlangga.

http://www.smalley.com/

Ansys 10.0 Tutorial.

SECNUM,

## Lampiran 1

Program Listing Pemodelan.

```
/BATCH
/COM,ANSYS RELEASE 10.0 UP20050718
                                         12:33:16 04/30/2007
/input,menust,tmp,",,,,,,,1
/GRA,POWER
/GST,ON
/PLO,INFO,3
/GRO,CURL,ON
/CPLANE,1
/REPLOT, RESIZE
WPSTYLE,,,,,,0
aESUME,'spes1','db','E:\data\RUNNIN~1\spes1\',0,0
/COM,ANSYS RELEASE 10.0 UP20050718
                                         12:40:55 04/30/2007
/PREP7
/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR SET,1
KEYW, PR STRUC, 1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR FLUID,0
KEYW,PR MULTI,0
KEYW,LSDYNA,1
/GO
/COM,
/COM, Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural with LS-DYNA Explicit
ET,1,SOLID164
EDMP,RIGI,1,4,7
MP,DENS,1,7.58E-6
MP,EX,1,2E+5
MP,NUXY,1,0.3
EDMP,RIGI,2,7,7
MP,DENS,2,7.58E-6
MP,EX,2,2E+5
MP,NUXY,2,0.3
MP,DENS,3,7.8E-6
MP,EX,3,2E+5
MP, NUXY, 3, 0.3
SAVE
TYPE, 1
MAT,
REAL,
ESYS,
SECNUM,
SMRT,6
MSHAPE,1,3D
MSHKEY,0
VPLOT
/UI,MESH,OFF
TYPE, 1
MAT,
REAL,
ESYS,
```

**FINISH** 

```
VSEL,,,, 3
CHKMSH,'VOLU'
VPLOT
/UI,MESH,OFF
SMRT,5
SMRT,4
SMRT,3
SMRT,2
TYPE, 1
       3
MAT,
REAL,
                    ERSITAS BRAWN
ESYS,
SECNUM,
TYPE, 1
MAT, 1
REAL,
ESYS,
        0
SECNUM,
SMRT,6
MSHAPE,1,3D
MSHKEY,0CM,_Y,VOLU
VSEL,,,,
CM, Y1, VOLU
CHKMSH,'VOLU'
EDPART, CREATE
EDPART,LIST
/UI,MESH,OFF
                     1,0.5E-01,0,0,0,0, , , , ,0,10000000,0,0
EDCGEN, ASTS,
                3,
                     2,0.5E-01,0,0,0,0, , , , 0,10000000,0,0
EDCGEN, ASTS,
                3,
                     3,0.5E-01,0,0,0,0, , , , ,0,10000000,0,0
EDCGEN, ASTS,
                3,
EDCLIST, ALL
SAVE
*DIM,beban,ARRAY,3,1,1,,,
                              110
*DIM,waktu,ARRAY,3,1,1,,,
*SET,WAKTU(2,1,1), 0.25
*SET,WAKTU(3,1,1), 0.5
*SET,BEBAN(2,1,1), -100
*SET,BEBAN(3,1,1), -100
SAVE
EDLOAD, ADD, RBFZ, 0,
                       1,WAKTU,BEBAN, 0, , , ,
/DIST,1,1.08222638492,1
/REP,FAST
BFLIST, ALL
EDLOAD,LIST,RBFZ,0,
                      1,WAKTU,BEBAN, 0, , , ,
SAVE
/SOL
TIME, 0.5,
SAVE
/STATUS,SOLU
SOLVE
```



