

STUDI PERANCANGAN KARET PEREDAM (*RUBBER BUSHING*) PADA BATANG TRAKSI UNTUK DIPAKAI PADA BOGIE TIPE POROS TUNGGAL DI KERETA API (*RAIL BUS*)

SKRIPSI

Oleh :

**AFID ASHARI
0410930001**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2009**

STUDI PERANCANGAN KARET PEREDAM (*RUBBER BUSHING*) PADA BATANG TRAKSI UNTUK DIPAKAI PADA BOGIE TIPE POROS TUNGGAL DI KERETA API (*RAIL BUS*)

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana sains dalam bidang fisika

Oleh :

AFID ASHARI
0410930001



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2009



Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI PERANCANGAN KARET PEREDAM (*RUBBER BUSHING*) PADA BATANG TRAKSI UNTUK DIPAKAI PADA BOGIE TIPE POROS TUNGGAL DI KERETA API (*RAIL BUS*)

Oleh
AFID ASHARI
0410930001

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. D.J. Djoko H.S., M.Phill., Ph.D
NIP. 131 879 032

Sigit Sugiarto, ST
NIP. 999800002

Pembimbing III

Ir. Edison Siregar

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Drs. Adi Susilo, M.Si, Ph.D
NIP. 131 960 447



Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : AFID ASHARI

NIM : 0410930001

Jurusan : FISIKA

Penulisan Skripsi berjudul :

STUDI PERANCANGAN KARET PEREDAM (*RUBBER BUSHING*) PADA BATANG TRAKSI UNTUK DIPAKAI PADA BOGIE TIPE POROS TUNGGAL DI KERETA API (*RAIL BUS*)

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dan Tugas Akhir ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung resiko yang akan saya terima

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, September 2009

Yang menyatakan

(AFID ASHARI)

NIM. 0410930001



Halaman ini sengaja dikosongkan

repository.ub.ac

STUDI PERANCANGAN KARET PEREDAM (*RUBBER BUSHING*) PADA BATANG TRAKSI UNTUK DIPAKAI PADA BOGIE TIPE POROS TUNGGAL DI KERETA API (*RAIL BUS*)

ABSTRAK

Tingginya ketergantungan akan produk impor dapat berdampak pada tingginya biaya produksi kereta api di PT. INKA. Salah satu upaya untuk menguranginya adalah dengan menggantikan produk impor dengan produk dalam negeri, sebagai contoh adalah *rubber bushing*. Dalam mensubstitusi *rubber bushing*, perlu adanya kemampuan dalam membuatnya sehingga penelitian akan pembuatan *rubber bushing* sangat dibutuhkan. Manfaat dari hasil penelitian ini adalah untuk dijadikan titik awal dalam upaya mensubstitusi *rubber bushing* di dalam negeri. Banyak keuntungan akan adanya kemampuan dalam memproduksinya, diantaranya adalah cepatnya waktu pengiriman dibandingkan produk impor dan harga yang relatif lebih kecil dengan kualitas yang dapat bersaing.

Spesimen karet dibuat dengan mengacu pada ketentuan di PT. INKA meliputi sifat kekerasan, pampatan tetap, deformasi pada pampatan 6000 Kgf, dan perpanjangan tetap. Pada penelitian ini digunakan spesimen karet dengan komponen utama yaitu karet alam (NR) jenis RSS 1 dengan penambahan *filler* penguat *carbon black* ISAF sebesar 50 phr, dan menggunakan sistem vulkanisasi konvensional dengan sulfur 2,5 phr dan santocure. NS 0,6 phr. Spesimen karet tersebut memiliki sifat yang sangat mendekati dengan spesimen karet yang digunakan di PT. INKA sehingga dapat dikatakan layak dan bisa direkomendasikan untuk digunakan dalam pembuatan *rubber bushing*. Deformasi torsional dari *rubber bushing* sesuai dengan ketentuan di PT. INKA, akan tetapi deformasi radialnya terlalu besar. Besar deformasi radial ini disebabkan oleh bentuk *kern axle* dari *rubber bushing* yang memiliki luas penekan yang sangat kecil pada pengujian deformasi radial. Sehingga perlu adanya modifikasi bentuk *kern axle* untuk memperkecil nilai deformasi radial yaitu dengan memperluas bidang penekan pada gaya radial.

STUDY OF DESIGNING TRACTION ROD RUBBER (RUBBER BUSHING) TO BE APPLIED AT SINGLE AXLE BOGIE IN TRAIN (RAIL BUS)

ABSTRACT

High dependence on import product, greatly concerned, gives deleterious effect on production coast of train in PT. INKA. One effort to decrease it is to change import product with local product one. As an example, in rubber field, we should start to produce local rubber bushing so import dependence can be declined. In order to that work, research on this field is absolutely needed. When the ability to produce the rubber bushing is gained, we will take many advantages: short delivery time and relatively cheap price with competitive quality.

Rubber specimen is made based on rubber specimen in PT. INKA with special condition on hardness characteristic, distortion rate on compression set test, solid deformation on 6000 Kgf, and elongation at break (EB). Natural rubber (NR) RSS 1 with addition of carbon black ISAF 50 phr and utilizing of conventional vulcanization system with 2,5 phr sulfur and santocure NS 0,6 phr is used as main component. The specification of specimen is appropriate with PT. INKA standart so it is proper and recommended to be used for rubber bushing production. Torsional deformation of rubber bushing is appropriate with PT. INKA standart, but we found some problem on the radial deformation. Radial deformation is relatively higher than expected because *axle kern* shape has very small stressed area in deformation testing, so *axle kern* shape modification is needed to reduce radial deformation by extending pressed area in radial deformation testing.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji dan syukur kehadirat ALLAH SUBHANALLAHU WA TA'ALA yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir atau Skripsi ini dengan judul “Studi Perancangan Karet Peredam (*Rubber Bushing*) pada Batang Traksi untuk Dipakai pada *Bogie* Tipe Poros Tunggal di Kereta Api (*Rail Bus*)”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains dalam Bidang Minat Material pada Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan Skripsi ini, banyak pihak yang telah membantu memberikan kontribusi ilmiah, moril dan materil baik secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis. Bersama ini penulis dengan setulus hati mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua (Bapak Achmad Djaimin dan Ibu Sunjiah), kakak (Noer Kholis Adam) dan adik (Erna Kusumaningtias) tercinta yang telah memberi dukungan, kasih sayang, iringan do'a, kepercayaan dan amanah kepada penulis sampai saat ini.
2. Bapak Ir. D. J. Djoko H. S., M. Phil., Ph. D. selaku pembimbing I yang telah berkenan membimbing, mengarahkan dan memberi petunjuk, sehingga penulisan Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Sigit Sugiarto, ST. selaku pembimbing II yang telah berkenan membimbing, mengarahkan dan memberi petunjuk, sehingga penulisan Skripsi dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Ir. Edison Siregar selaku pembimbing III yang telah berkenan membimbing, mengarahkan dan memberi petunjuk selama penelitian, sehingga penulisan Skripsi dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Drs. Adi Susilo, Ph.D. selaku pembimbing akademik dan ketua Jurusan Fisika Universitas Brawijaya yang telah berkenan

- membimbing, mengarahkan dan memberi petunjuk selama proses studi.
6. Bapak Muhtar, Saudara Purwo, dan Bapak Wardoyo yang telah banyak membantu dalam penelitian.
 7. Seluruh dosen pengajar dan staf Jurusan Fisika Universitas Brawijaya atas ilmu dan pelayanan akademis yang telah diberikan kepada penulis.
 8. Teman-teman seperjuangan di jurusan fisika angkatan 2004 (Suwondo, Ghofur, Busri, Ali, Andin, Anis, Aul, Diena, Desy, Ochim, Fendi, Gayuh, Hanim, Hertin, Chotim, Ifan, Isna, Kiki, Izza, Linda, Lis, Irfan, Munir, Azis, Abdullah, Ulum, Furqon, Ika, Pras, Prisca, Rahma, Ratih, Reza, Riky, Rinda, Udin, Sandi, Septri, Asmi, Tica, Tino, Titan, Ubai, dan Iin) atas saran, dukungan dan senyumannya selama penulis menuntut ilmu dan selama penyelesaian Skripsi ini.
 9. Teman-teman Unit Aktivitas Tenis Meja Universitas Brawijaya yang telah membantu banyak hal dalam proses belajar berorganisasi, bermain tenis meja, dan memberikan motivasi.
 10. Serta seluruh pihak terkait yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama melakukan penelitian dan penyusunan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan di kemudian hari. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Akhirnya, penulis meminta maaf yang sebesar-besarnya kepada semua pihak, atas segala kekurangan dan kesalahan yang disengaja maupun tidak disengaja selama penelitian sampai dengan terselesaikannya Skripsi ini.

Malang, September 2009
Penulis,

Afid Ashari
NIM. 0410930001

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK/ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Rubber Bushing</i>	5
2.2 Komponen – Komponen dalam Pencampuran	9
2.2.1 Elastomer	9
2.2.1.1 Sifat mekanik karet	9
2.2.1.2 Karet alam	11
2.2.1.3 Karet sintetik	15
2.2.2 Pengisi (<i>Filler</i>)	19
2.2.3 Agen vulkanisasi	21
2.2.4 Pemercepat (<i>accelerator</i>) dan pengaktif <i>accelerator</i>	22
2.2.5 Penghambat Penuaan	24
2.2.6 Pelunak (<i>softener</i>)	24
2.2.7 Komposisi tambahan	26
2.3 Formulasi	27
2.4 Metode Pembuatan Spesimen Karet	29
2.4.1 Pencampuran	29
2.4.2 Vulkanisasi	29

2.4.2.1	Sistem vulkanisasi	29
2.4.2.2	Kondisi vulkanisasi	31
2.4.2.3	Teknik vulkanisasi	32
2.4.2.4	Pengujian vulkanisasi	33
2.5	Pengujian Vulkanisat	34
2.5.1	Pengujian kuat tarik	35
2.5.2	Pengujian kekerasan	35
2.5.3	Pengujian pampatan tetap	35
2.6	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Besar Nilai Deformasi Sampel <i>Rubber Bushing</i>	36
2.6.1	Faktor yang mempengaruhi deformasi radial	36
2.6.2	Faktor yang mempengaruhi deformasi torsional	37

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Obyek Penelitian	39
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	39
3.3	Skema Metode Penelitian.....	39
3.4	Persiapan Sampel <i>Rubber Bushing</i>	41
3.4.1	Sampel spesimen karet	41
3.4.1.1	Pemilihan formula	41
3.4.1.2	Proses pembuatan spesimen karet	41
3.4.2	Pembuatan sampel <i>rubber bushing</i>	42
3.4.2.1	Alat dan bahan	42
3.4.2.2	Proses pembuatan sampel <i>rubber bushing</i>	45
3.5	Pengambilan Data	46
3.5.1	Data spesifikasi <i>rubber bushing</i> di PT. INKA	47
3.5.2	Data spesifikasi sampel <i>rubber bushing</i>	47
3.5.2.1	Pengujian sampel spesimen karet	47
3.5.2.2	Pengujian sampel <i>rubber bushing</i>	51
3.6	Analisa Kelayakan Sampel Spesimen Karet	52
3.7	Analisa Kelayakan Sampel <i>Rubber Bushing</i>	52

BAB IV DATA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Hasil	53
4.1.1	Spesifikasi <i>rubber bushing</i> di PT. INKA	53
4.1.2	Formula campuran Karet	53
4.1.3	Sistem vulkanisasi	54
4.1.4	Spesifikasi sampel <i>rubber bushing</i>	54
4.2	Pembahasan	56

4.2.1 Pemilihan <i>formula</i>	56
4.2.2 Analisa kelayakan sampel spesimen karet	59
4.2.3 Analisa kelayakan sampel <i>rubber bushing</i>	61
4.2.3.1 Deformasi torsional	62
4.2.3.2 Deformasi radial	64

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	67
5.2. Saran	67

DAFTAR PUSTAKA	69
----------------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. <i>Rubber bushing</i>	5
Gambar 2.2. Pemasangan <i>rubber bushing</i> pada <i>traction rod</i>	6
Gambar 2.3. Letak <i>traction rod</i>	6
Gambar 2.4. Gaya torsional pada <i>rubber bushing</i>	7
Gambar 2.5. Gaya radial pada <i>rubber bushing</i>	7
Gambar 2.6. Syarat kelayakan deformasi torsional	8
Gambar 2.7. Syarat kelayakan deformasi Radial	8
Gambar 2.8. Skema model voight dan model maxwell	10
Gambar 2.9. Hubungan tegangan dan regangan pada rangkaian yang berbeda	10
Gambar 2.10. Monomer (isoprene) dan polymer karet alam (Cis 1,4-polyisoprene).....	12
Gambar 2.11. Sifat kuat tarik dari karet alam yang mengandung filler carbon black dengan kekerasan 73 IRHD, 59 IRHD, 47 IRHD, 33 IRHD	13
Gambar 2.12. Ikatan <i>krosslink</i>	30
Gambar 2.13. Skema alat cetak tekan.....	32
Gambar 2.14. Skema alat tranfer molding	33
Gambar 2.15. Skema alat cetak injeksi	33
Gambar 2.16. Sampel <i>rubber bushing</i> dengan gaya radial	36
Gambar 2.17. Sampel <i>rubber bushing</i> dengan gaya torsional	37
Gambar 2.18. Gaya bekerja pada bidang secara simultan	38

Gambar 3.1.	Skema metode penelitian	40
Gambar 3.2.	Skema proses pembuatan sampel spesimen karet	41
Gambar 3.3.	<i>Matres</i>	43
Gambar 3.4.	<i>Kern</i>	44
Gambar 3.5.	Shore A Durometer	48
Gambar 3.6.	Sampel spesimen <i>rubber</i> untuk pengujian kekerasan	48
Gambar 3.7.	Sampel spesimen untuk pengujian kuat tarik	48
Gambar 3.8.	Sampel spesimen untuk pengujian pampatan tetap.....	49
Gambar 3.9.	Alat uji pampatan tetap	50
Gambar 3.10.	Grafik pengujian <i>instruksi</i>	51
Gambar 3.11.	Uji deformasi torsional	51
Gambar 3.12.	Pengujian deformasi radial	52
Gambar 4.1.	Sampel <i>rubber bushing</i>	54
Gambar 4.2.	Grafik deformasi torsional	61
Gambar 4.3.	Permukaan kern axle yang rekat dengan spesimen karet	62
Gambar 4.4.	Grafik deformasi radial.....	64
Gambar 4.5.	Pengujian deformasi radial.....	66

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Sifat fisik karet alam.....	12
Tabel 2.2	Komposisi karet alam	13
Tabel 2.3	Sifat-sifat elastomer secara relatif	18
Tabel 2.4	Agen <i>vulkanisasi</i> tanpa <i>sulfur</i>	21
Tabel 2.5	Pengelompokan <i>accelerator</i>	23
Tabel 2.6	Jenis pengaktif <i>accelerator</i>	24
Tabel 2.7	Sifat <i>softener</i>	25
Tabel 2.8	Contoh dan fungsi dari komposisi tambahan	26
Tabel 2.9	Pengaruh tiap komponen pada kekerasan vulkanisat..	28
Tabel 2.10	Contoh formula campuran	28
Tabel 2.11	Sifat vulkanisat dari formula pada tabel 2.10	29
Tabel 2.12	Sistem vulkanisasi sulfur.....	30
Tabel 3.1	Komponen-komponen pada sampel spesimen karet...	41
Tabel 4.1	Spesifikasi spesimen karet	53
Tabel 4.2	Komponen-komponen dalam campuran	53
Tabel 4.3	Spesifikasi sampel spesimen karet	54
Tabel 4.4	Data deformasi radial	55
Tabel 4.5	Data deformasi torsional <i>rubber bushing</i>	55
Tabel 4.6	Perkiraan kekerasan	56





Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Gambar sampel <i>rubber bushing</i>	71
Lampiran 2. Gambar posisi <i>traction rod</i> pada kereta api <i>rail bus</i>	73
Lampiran 3. Gambar pemasangan <i>rubber bushing</i> pada <i>traction rod</i>	75
Lampiran 4. Gambar alat pengujian sampel spesimen karet.....	77
Lampiran 5. Gambar pengujian defleksi pada pembebanan 6000 Kgf	79
Lampiran 6. Sertifikat pengujian sampel spesimen karet.....	81
Lampiran 7. Hasil pengujian defleksi pada pembebanan 6000 Kgf.....	83
Lampiran 8. Gambar pengujian instruksi <i>rubber bushing</i>	85
Lampiran 9. Hasil pengujian sampel <i>rubber bushing</i>	87
Lampiran 10. Dimensi <i>rubber bushing</i> produk dari Singapore ...	91
Lampiran 11. Perhitungan luas permukaan kern yang rekat dengan spesimen karet.....	93



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negeri yang kaya akan sumber daya alam, terutama tanahnya yang sangat potensial dalam pembudidayaan tanaman, seperti pembudidayaan pohon penghasil getah karet. Indonesia merupakan produsen karet alam terbesar kedua di dunia setelah Thailand dengan produksi lebih dari 26% karet dunia pada tahun 2005. Sejumlah lokasi di Indonesia yang cocok untuk pertanaman karet sebagian besar berada di wilayah Sumatra dan Kalimantan. Karet merupakan komoditi ekspor yang mampu memberikan kontribusi dalam peningkatan devisa negara. Ekspor karet Indonesia selama 20 tahun terakhir terus menunjukkan peningkatan, dari 1.0 juta ton pada tahun 1985 menjadi 1.3 juta ton pada tahun 1995 dan 2.0 juta ton pada tahun 2005(Chairil Anwar, 2006).

Karet merupakan sektor non-migas yang sangat potensial untuk dikembangkan, karena Indonesia kaya akan sumber daya alam dan merupakan negara produsen karet utama di dunia yang memiliki daerah terluas yang cocok untuk pertanaman karet, juga karena kebutuhan akan karet alam sangat besar di dunia baik dalam kebutuhan industri maupun rumah tangga. Kondisi Indonesia sampai saat ini adalah masih tingginya ketergantungan terhadap produk impor, hal ini bisa dilihat dari banyaknya barang impor yang masuk, sebagai contoh adalah produk berbahan baku karet alam. Hal ini menunjukkan bahwa masih kurangnya produksi karet alam menjadi bahan jadi atau kurangnya kemampuan bangsa dalam menghasilkan produk dalam negeri terutama akan produk karet. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain adalah kurangnya penelitian akan karet di Indonesia, dan kurangnya kepercayaan masyarakat akan produk dalam negeri. Melihat kondisi seperti itu perlu adanya peningkatan penelitian dalam pengembangan sumber daya alam secara maksimal terutama penelitian akan produk karet. Dengan adanya kemampuan dalam pembuatan produk di dalam negeri akan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat dalam pemenuhan kebutuhan, menambah lapangan pekerjaan, meminimalisir ketergantungan terhadap produk impor, meningkatkan kemandirian bangsa, meningkatkan devisa Negara dan sangat memungkinkan sekali untuk dapat menghasilkan produk dalam negeri yang memiliki

performa yang lebih inovatif sesuai dengan kebutuhan dan mampu bersaing dengan produk dari luar negeri yang selama ini masih dikonsumsi.

PT. Industri Kereta Api (PT. INKA) adalah merupakan perusahaan perseroan satu-satunya di Indonesia yang bergerak di bidang industri kereta api. PT. INKA berlokasi di Jl. Yos Sudarso No.71 Madiun. Salah satu produk kereta api dari PT. INKA yang terbaru pada tahun 2009 ini adalah *rail bus*. *Rail bus* merupakan kereta api pesanan dari pemerintah provinsi sumatra selatan yang digunakan sebagai alat transportasi khusus untuk mahasiswa Universitas Sriwijaya. Kereta ini menggunakan *bogie* dengan tipe poros tunggal(*single axle*) dan terdapat dua batang traksi (*traction rod*) pada tiap *bogie*. *Rail bus* merupakan jenis kereta rel ringan, penggabungan dari dua teknologi massal yaitu teknologi kereta dan teknologi bus. Keuntungan dari kereta ini adalah harga produksi yang lebih murah dan memerlukan waktu yang pendek yaitu 8 bulan.

Dalam kebutuhan produksinya, PT. INKA masih mendatangkan beberapa barang dari luar negeri karena dipercaya kualitasnya yang bisa diandalkan. Tingginya ketergantungan PT. INKA akan produk impor dapat berdampak pada tingginya biaya produksi kereta api. Salah satu upaya untuk menguranginya adalah dengan menggantikan produk impor dengan produk dalam negeri, sebagai contoh adalah *rubber bushing*. Dalam mensubstitusi *rubber bushing*, perlu adanya kemampuan dalam membuatnya sehingga penelitian akan pembuatan *rubber bushing* sangat dibutuhkan. Banyak keuntungan akan adanya kemampuan dalam memproduksi *rubber bushing*, diantaranya adalah cepatnya waktu pengiriman dibandingkan produk impor dan harga yang relatif lebih rendah dengan kualitas yang dapat bersaing.

Traction rod merupakan batang dengan material besi ST 60 yang ujungnya dihubungkan pada bagian tengah rangka *bogie* (rangka dasar yang menahan semua beban kereta api) secara horizontal dengan *under frame* (rangka bawah badan kereta) dengan tujuan untuk menahan pergeseran *bogie* dengan *under frame*. Pada setiap ujung *traction rod* terdapat peredam yang dikenal dengan *rubber bushing*. *Rubber bushing* ini berfungsi untuk meredam gerakan yang diakibatkan oleh pergeseran antara *under frame* dan *bogie* dalam gerakan vertikal, lateral, dan putar, sehingga pergerakannya tetap terjaga pada batas toleransi dan tidak menimbulkan impak (retak) pada *traction rod*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana menentukan komposisi spesimen karet yang akan digunakan dalam pembuatan *rubber bushing*.
- Apakah spesimen karet tersebut layak untuk digunakan.
- Apakah spesifikasi *rubber bushing* sesuai dengan ketentuan yang dipakai pada *rail bus* di PT. Industri Kereta Api.

1.3 Batasan Masalah

- Sampel spesimen karet yang digunakan adalah karet alam dengan filler *carbon black*.
- Proses pembuatan sampel spesimen karet dan sampel *rubber bushing* dilakukan oleh PT. Karet Ngagel.
- Bentuk *kern* yang dipakai dalam penelitian ini sama dengan bentuk *kern* di PT. INKA.
- Variabel perbandingan yang digunakan adalah spesifikasi spesimen karet di PT. INKA dan syarat kelayakan spesifikasi instruksi *rubber bushing*.
- Standart pengujian sampel spesimen karet yang digunakan adalah JIS K 6301.
- Tidak melakukan pengujian spesifikasi instruksi pada *rubber bushing* yang ada di PT. INKA.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menentukan komposisi spesimen karet.
- Mengetahui spesifikasi dari spesimen karet tersebut.
- Memproduksi *rubber bushing*.
- Mengetahui spesifikasi instruksi *rubber bushing* yang meliputi deformasi torsional dan deformasi radial.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai titik awal dalam upaya mensubstitusi *rubber bushing* di dalam negeri.



Halaman ini sengaja dikosongkan

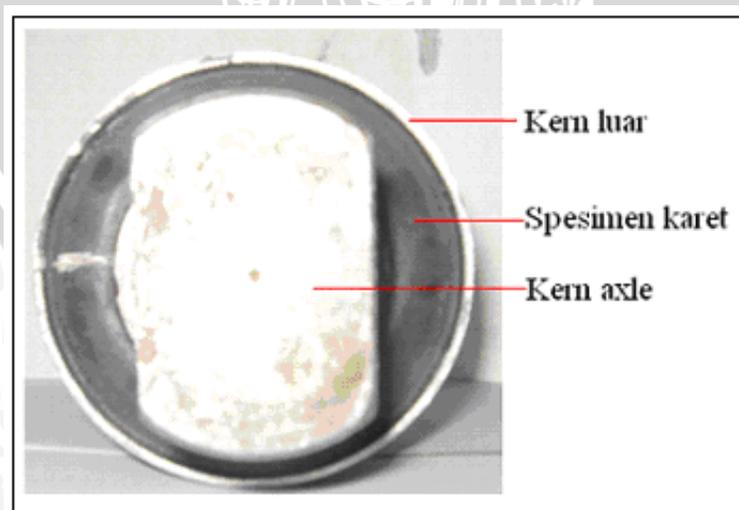
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rubber Bushing

Rubber bushing merupakan bagian dari *traction rod* yang terletak pada tiap ujungnya dan berfungsi sebagai peredam gerakan atau pergeseran antara badan kereta dan rangkaian bogie pada gerakan vertikal, lateral, putar, dan menjaga *traction rod* dari terjadinya retak. *Rubber bushing* diperlihatkan pada Gambar 2.1 berikut:

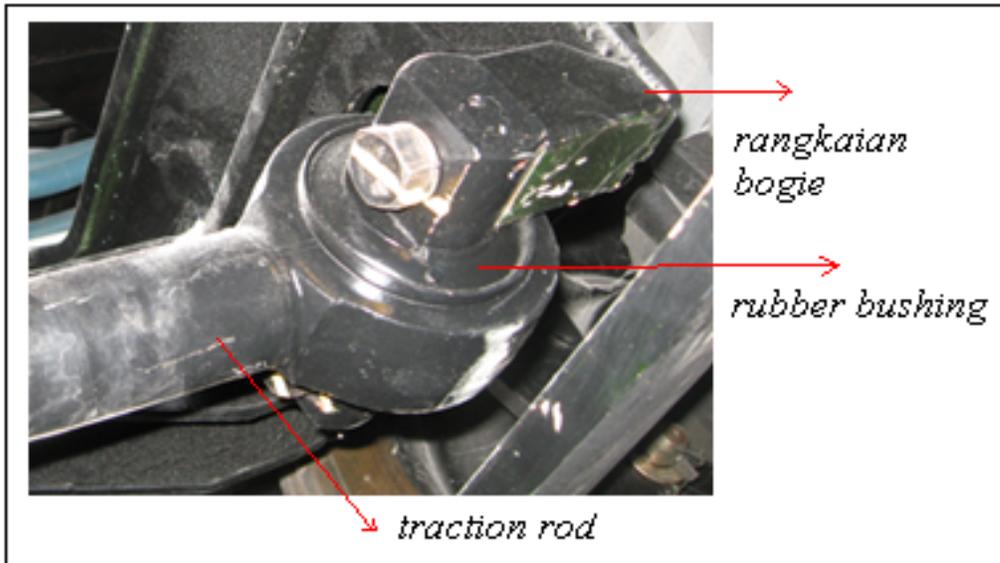


Gambar 2.1a *Rubber bushing* terlihat dari depan dan samping.



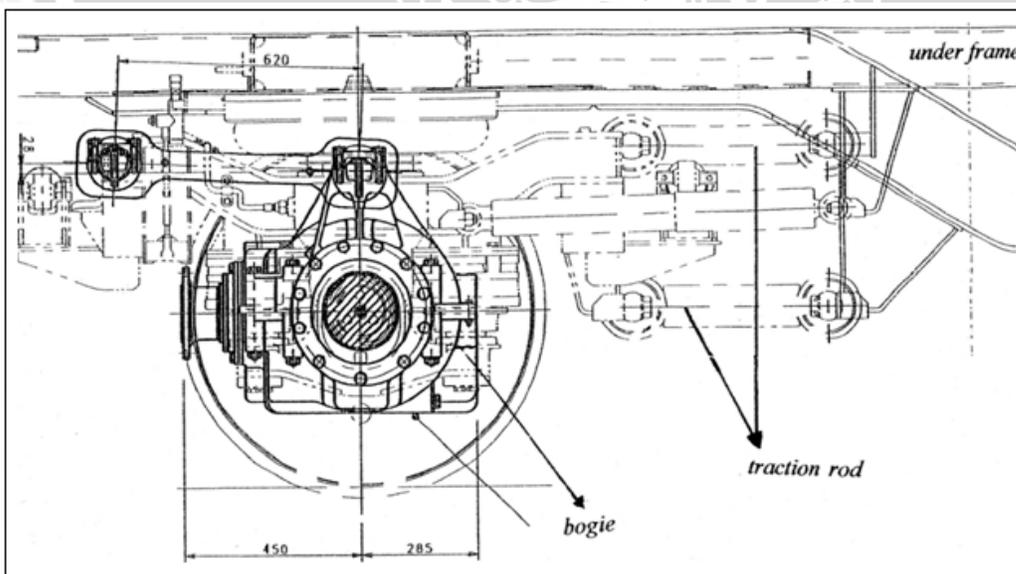
Gambar 2.1b. *Rubber bushing* terlihat dari atas atau bawah

Letak pemasangan *rubber bushing* pada *traction rod* diperlihatkan pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Pemasangan *rubber bushing* pada *traction rod*

Traction rod merupakan batang yang dihubungkan pada rangkaian *bogie* dan *under frame* (bagian dasar badan kereta). Letak pemasangan *traction rod* pada kereta adalah seperti terlihat pada Gambar 2.3 berikut:

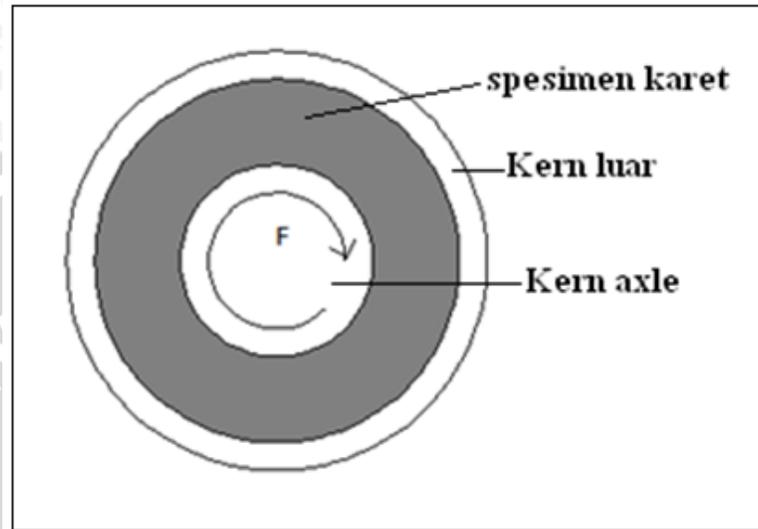


Gambar 2.3. Letak *traction rod*

Melihat fungsi *rubber bushing* sebagai peredam gerakan yang diakibatkan dari pergeseran badan kereta dan rangkaian *bogie* dalam arah vertikal, lateral, dan putar maka perlu diketahui

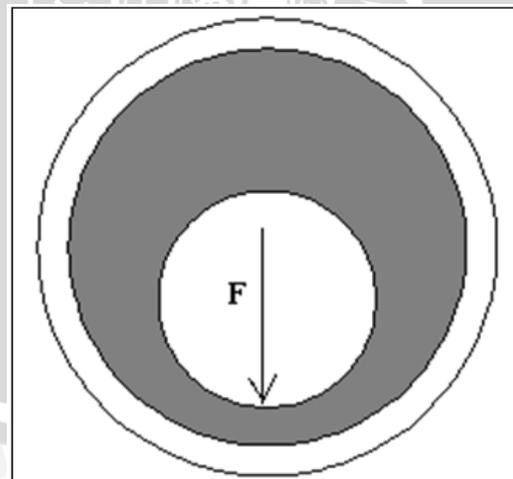
spesifikasi instruksi dari *rubber bushing* yang meliputi deformasi torsional dan deformasi radial.

Deformasi torsional menunjukkan besar deformasi *rubber bushing* setelah dikenai gaya (F) yang bekerja pada *traction rod* pada arah vertikal (gaya torsional pada *rubber bushing*) seperti terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gaya torsional pada *rubber bushing*.

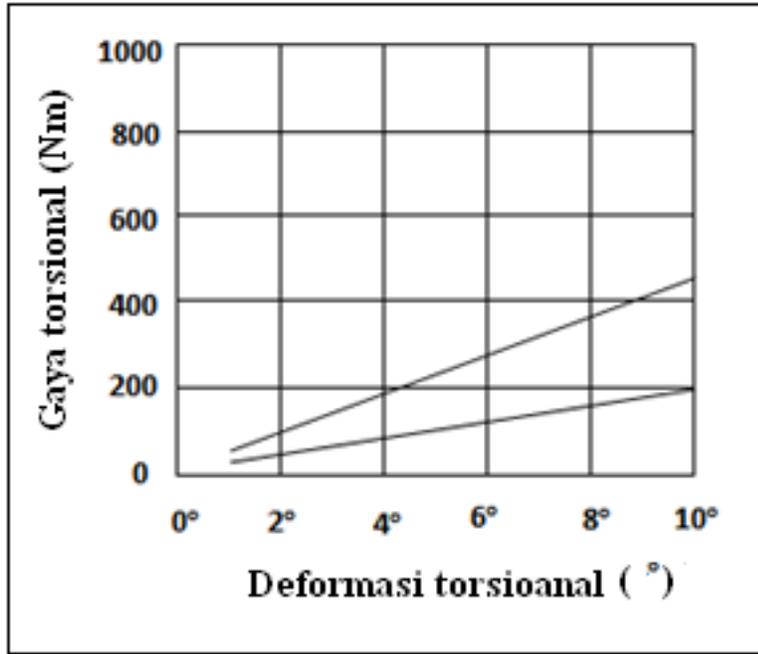
Deformasi radial adalah merupakan deformasi *rubber bushing* yang diakibatkan adanya gaya lateral pada *traction rod* (gaya radial pada *rubber bushing*) seperti terlihat pada Gambar 2.5.



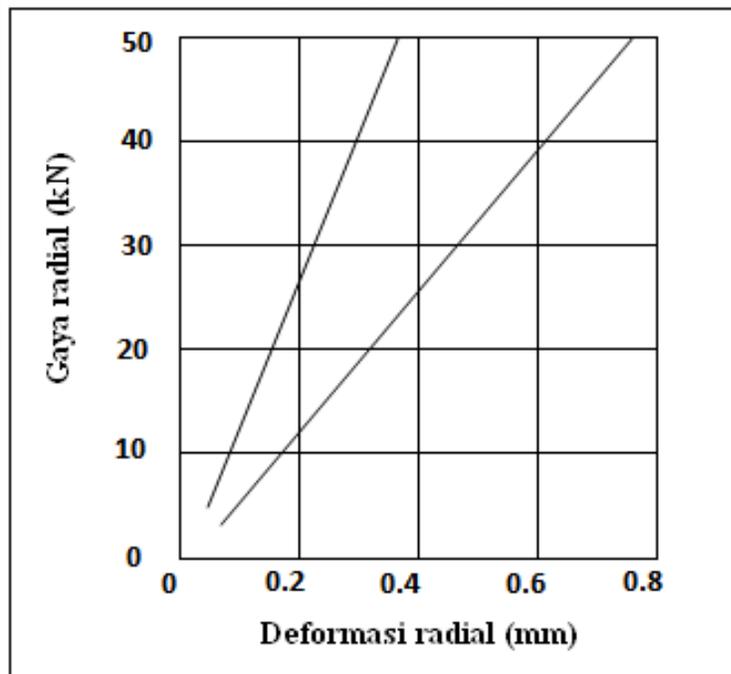
Gambar 2.5 Gaya radial pada *rubber bushing*

F adalah gaya yang berasal dari pergeseran *under frame* dengan rangkaian bogie dalam gerakan lateral atau gaya radial pada *rubber bushing*.

Adapun syarat kelayakan dari *rubber bushing* untuk sifat deformasi torsional dan deformasi radial berturut-turut diperlihatkan pada Gambar 2.6 dan 2.7.



Gambar 2.6 Syarat kelayakan deformasi torsional



Gambar 2.7 Syarat kelayakan deformasi radial

2.2 Komponen – Komponen dalam Pencampuran.

Dalam pencampuran karet diperlukan beberapa komponen yaitu:

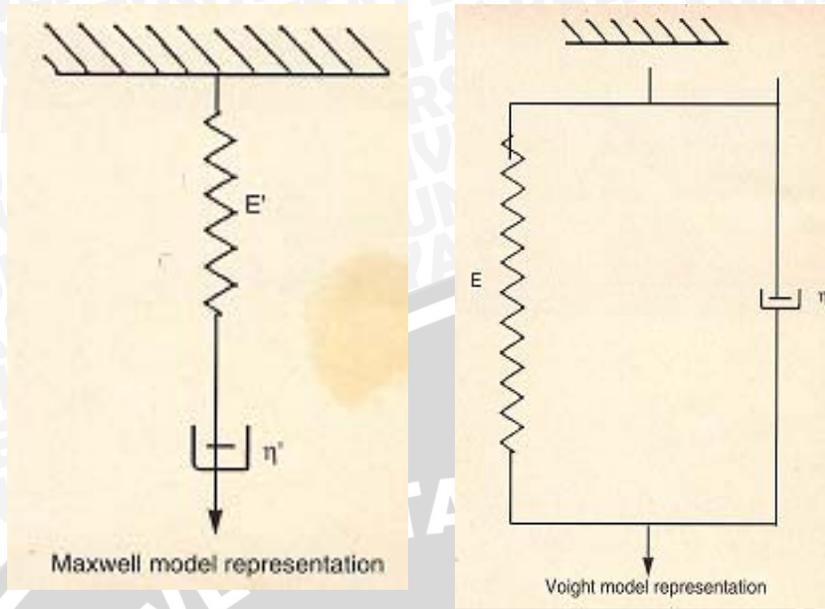
2.2.1 Elastomer.

Karet adalah merupakan salah satu jenis polimer dari jenis elastomer. Karet dikelompokkan menjadi dua yaitu karet alam dan karet sintetik. Polimer merupakan makromolekul yang tersusun dari penggabungan molekul-molekul sederhana (monomer-monomer). Polimer dapat dibentuk dengan cara menggabungkan monomer-monomer, proses penggabungan ini disebut dengan polimerisasi. Ada dua jenis polimerisasi yaitu polimerisasi addisi dan polimerisasi kondensasi. Polimerisasi addisi adalah penggabungan monomer-monomer yang mempunyai ikatan rangkap melalui reaksi addisi sehingga tidak ada atom yang hilang dari molekul monomer awalnya, sedangkan polimerisasi kondensasi adalah proses penggabungan monomer-monomer yang memiliki gugus fungsional saling berinteraksi dan melepaskan atom dari molekul awal dan membentuk produk (molekul) baru dari atom tersebut (Morton Maurice, 1973).

Sifat fisis karet seperti halnya sifat polimer yaitu dipengaruhi oleh dua aspek, aspek tersebut adalah gaya yang bekerja pada atom dan molekulnya. Gaya antar atom merupakan gaya elektromagnetik, sebagai contoh adalah gaya valensi yang mengikat atom bersama. Gaya antar atom ini sangat kuat karena bekerja pada jarak yang relative dekat sehingga untuk merusaknya diperlukan gaya sebesar gaya antar atom tersebut. Selain gaya antar atom terdapat juga gaya antar molekul, gaya ini sangat lemah bila dibandingkan dengan gaya antar atom. Karet merupakan makromolekul sehingga sifatnya dipengaruhi oleh karakter rantai ikatan atom karbonnya yang panjang (Morton Maurice, 1973).

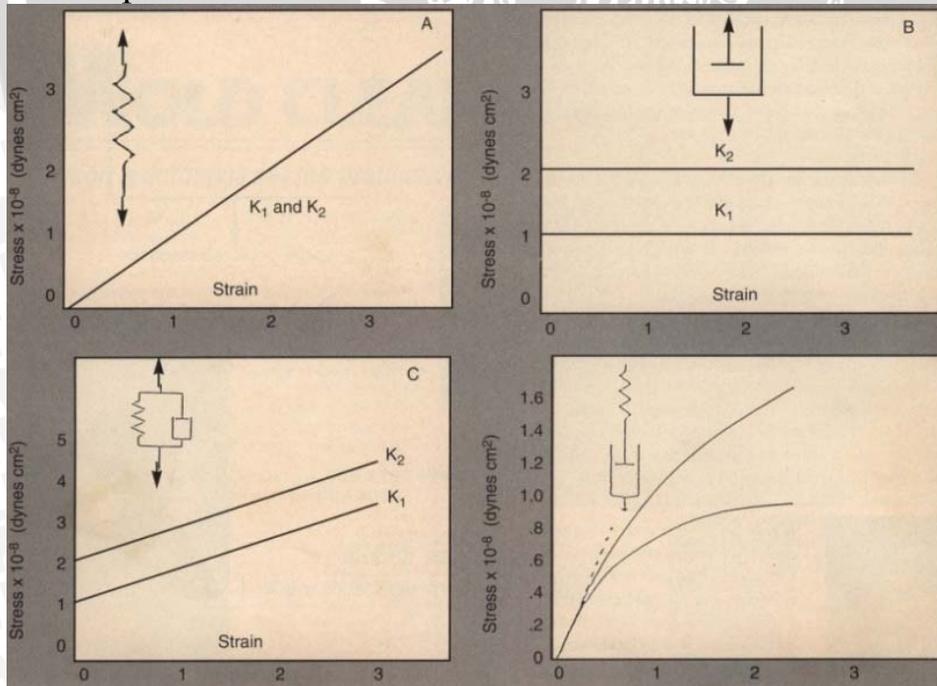
2.2.1.1 Sifat mekanik elastomer.

Sifat mekanik elastomer mayoritas dipengaruhi oleh sifat elastis dan viskoelastisnya, keduanya dimodelkan dengan sebuah rangkaian pegas dan dashpot yang tersusun secara seri atau parallel. Pegas mewakili sifat elastis elastomer sedangkan dashpot mewakili sifat viskoelastisnya. Bila tersusun seri disebut dengan model voight dan parallel disebut model Maxwell (Gambar 2.8). Pada Gambar 2.9 terdapat hubungan tegangan dan regangan dengan rangkaian yang berbeda.



Gambar 2.8 Skema model voight dan model maxwell

Kurva-kurva pada Gambar 2.9 menggambarkan regangan pada dua laju tegangan yang berbeda yaitu K_1 dan K_2 dengan $K_2 = 2K_1$. Modulus pegas (E) adalah 10^8 dyne/cm² dan viskositas dashpot (η) sebesar 10^8 poise.



Gambar 2.9 Hubungan tegangan dan regangan pada rangkaian berbeda.

Pada kurva A dengan pegas tunggal (sifat elastis), tegangan sebanding dengan regangan sesuai dengan persamaan hooke berikut:

$$\sigma = E.\varepsilon \dots \dots \dots (1)$$

Dimana σ = tegangan, E = modulus, ε = regangan. Pada kurva B dengan dashpot tunggal memiliki harga tegangan tertentu yang hubungannya sesuai dengan persamaan Newton :

$$\sigma = K\eta \dots \dots \dots (2)$$

Dimana σ = tegangan, K = laju regangan, η = viskositas. Tegangan sebanding dengan laju regangan tetapi tidak tergantung pada regangan yang sebenarnya, maka didapat dua garis horizontal yang menggambarkan K_1 dan K_2 . Pada kurva C (model voight), jika kontribusi pegas dinaikkan, kontribusi dashpot naik tajam seiring dengan naiknya regangan. Laju regangan menjadi ganda, sedangkan kemiringan kurva tetap konstan. Resultan tegangan pada model voight adalah:

$$\sigma = K\eta + E\varepsilon \dots \dots \dots (3)$$

Pada kurva D (model maxwell) persamaan tegangan dan reganganya adalah:

$$\sigma = K\eta(1 - e^{-E\varepsilon/K\eta}) \dots \dots \dots (4)$$

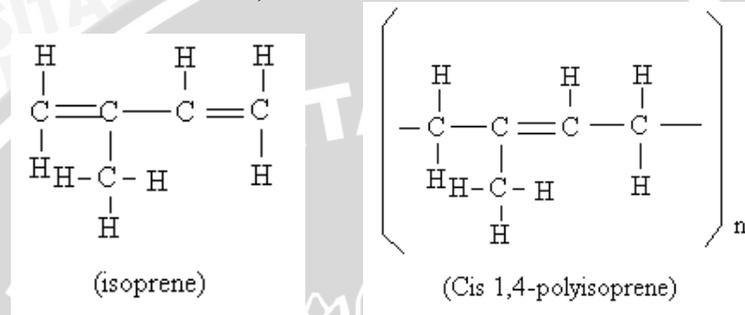
Pada nilai regangan yang kecil, tegangan hanya mempengaruhi pegas saja. Kurvanya linier dan berhimpit (sifat pegas atau hukum hooke). Pada titik tertentu dashpot memberikan kontribusinya sehingga menaikkan total tegangan. Total tegangan dan regangan pada akhirnya mencapai nilai konstan dan kemiringan kurva menjadi nol. Kurva K_1 dan K_2 pada titik ini terpecah (tidak berhimpit) dengan K_2 mencapai titik lebih tinggi karena K_2 lebih besar dari K_1 . Kurva dari model Maxwell ini ternyata lebih realistis dalam menggambarkan sifat dinamik karet. Akan tetapi pada model tersebut, tegangan tidak tergantung pada laju melewati range regangan yang bernilai kecil yang pada kenyataannya polimer tidak selalu begitu. Sehingga model voight lebih mendekati pada sifat pemelaran elastomer sedangkan model maxwell mendekati sifat relaksasi tegangannya (Payne Freakley, 1978).

2.2.1.2 Karet alam

Karet alam didapat dari getah pohon karet (latek) yang dipanaskan sampai kering sebagai bahan baku karet mentah. Terdapat lebih dari 200 jenis spesies yang menghasilkan latek

diantaranya adalah *hevea brasiliensis*, *guayule (parthenum argentatum)*, *funtumia elastica*, *landolphia species*, *Castilloa elastica*, *ceara rubber*, *manihot glaziovii*. (Morton Maurice, 1973).

Analisa pertama akan karet dilakukan oleh faraday, dia mengatakan bahwa karet tersusun dari *hydrogen* dan *carbon* dalam perbandingan yang dinyatakan dalam ikatan kimia C_5H_8 . William menyatakan *isoprene* merupakan unit yang membentuk karet alam. Bentuk ikatan karet alam diperlihatkan pada Gambar 2.10 sebagai berikut(Morton Maurice, 1973):



Gambar 2.10 Monomer (isoprene) dan polymer karet alam (Cis 1,4-polyisoprene).

Sifat fisik karet sangat dipengaruhi oleh unsur-unsur yang terkandung di dalamnya dan tingkat *crystallinity*. Sifat fisik karet alam lainya ditunjukkan pada Table 2.1(Morton Maurice, 1973).

Tabel 2.1 Sifat fisik karet alam

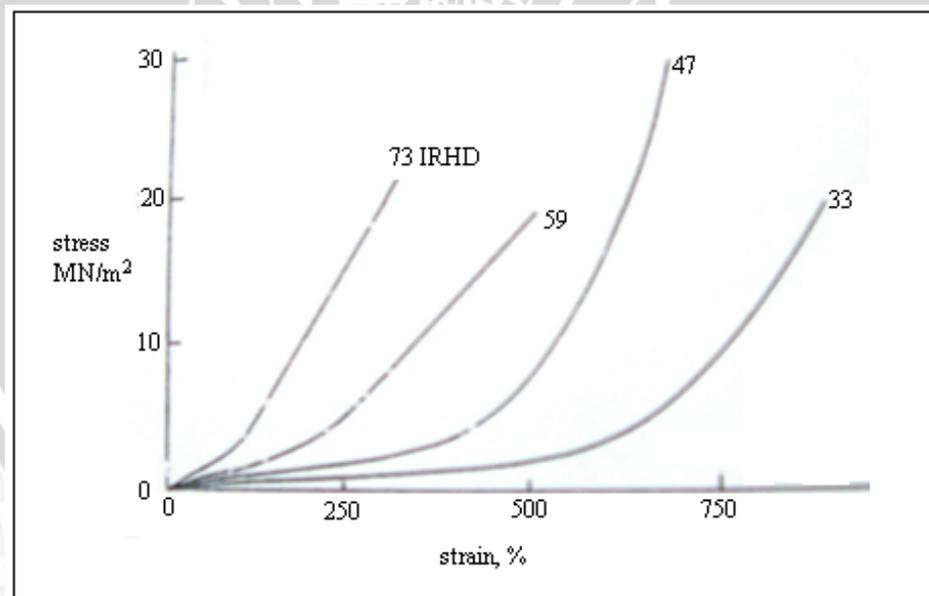
Density	0.92 g/cm ³
Indek refraksi(20 ⁰ C)	1.52
Koefisien ekspansi volum	0.00062 / ⁰ C
Densitas energi kohesif	63.7 cal / c.c.
Konduktivitas termal	0.00032 cal./sec/cm ² / ⁰ C
Konstanta dielektrik	2.37
Faktor daya (1000 cycle)	0.15 – 0.2
Resistivitas volum	10 ¹⁵ ohm/ c.c.
Kekuatan dielektrik	1000 volt/mil
Derajad panas pembakaran	10700 cal / g

Komposisi karet alam adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Morton Maurice, 1973).

Tabel 2.2 Komposisi karet alam

Komponen Bahan	Rata – rata (%)	Range (%)
Moisture	0.5	0.3 – 1
Aceton Extract	2.5	1.5 – 4.5
Protein	2.5	2.0 – 3.0
Ash	0.3	0.2 – 0.5
Rubber Hydrokarbon	94.2	
Total	100	

Sifat kuat tarik dari karet alam yang mengandung filler carbon black dengan kekerasan vulkanisat 73 IRHD, 59 IRHD, 47 IRHD, 33 IRHD terlihat pada Gambar 2.11 berikut (Lindley. P. B, 1964):



Gambar 2.11 Sifat kuat tarik dari karet alam yang mengandung filler carbon black dengan kekerasan 73 IRHD, 59 IRHD, 47 IRHD, 33 IRHD

Jenis mutu karet alam untuk kepentingan perdagangan karet internasional ditetapkan berdasarkan ketentuan-ketentuan dalam buku “Green Book” yang ditetapkan oleh *International Rubber Quality and Packing Conference* (IRQPC). Organisasi ini menetapkan jenis-jenis mutu karet alam yaitu menetapkan contoh-contoh karet standar internasional, spesifikasi cara pembungkusan karet alam termasuk cara-cara pengujian mutu karet serta ketentuan pemasaran karet alam yang lainnya. Karet alam konvensional menurut “Green Book” digolongkan dalam jenis-jenis mutu sebagai berikut:

1. *Ribbed Smoked Sheets* (RSS), yang dibagi menjadi:
RSS 1-X, RSS No.1, RSS No. 2,
RSS No.3, RSS No.4, RSS No.5.
2. *White Crepes dan Pale Crepes*, yang dibagi menjadi:
Thin White Crepe No: 1-X
Thick Pale Crepe No: 1-X
Thin Pale Crepe No: 1-X
Thin White Crepe No: 1
Thick Pale Crepe No: 1
Thin Pale Crepe No: 1
Thick Pale Crepe No: 2
Thin Pale Crepe No: 2
Thick Pale Crepe No: 3
Thin Pale Crepe No: 3
3. *Estate Brown Crepe*, yang dibagi menjadi:
Thick Brown Crepe No: 1-X
Thin Brown Crepe No: 1-X
Thick Brown Crepe No: 2-X
Thin Brown Crepe No: 2-X
Thick Brown Crepe No: 3-X
Thin Brown Crepe No: 3-X
4. *Compo Crepe*, yang dibagi menjadi:
Compo No. 1
Compo No. 2
Compo No. 3
5. *Thin Brown Crepe (Remills)* yang dibagi menjadi:
Thin Brown Crepe No. 1
Thin Brown Crepe No. 2
Thin Brown Crepe No. 3
Thin Brown Crepe No. 4
6. *Thick Blanket Crepe (ambers)* yang dibagi menjadi:

- Thick Blanket Crepe No.2*
- Thick Blanket Crepe No.3*
- Thick Blanket Crepe No.4*
- 7. *Flat Bark Crepes* yang dibagi menjadi:
 - Standard Flat Crepe*
 - Hard Flat Bark Crepe*
- 8. *Pure Smoke Blanket Crepe*

(P.S. Siswoputranto, 1981).

2.2.1.3 Karet sintetik

Selain karet alam juga terdapat karet sintetik, digunakan karena keterbatasan karet alam, selain itu modifikasi untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan sangat beragam. Karet sintetik terdiri dari berbagai jenis yaitu:

a. Karet alam sintetik (*Cis-1,4-polyisoprene*)

Karet ini terbuat dari hasil polimerisasi isopren yaitu molekul karet alam sehingga sifatnya hampir sama dengan karet alam.

b. Karet *Stiren-Butadien* (SBR).

Karet jenis ini dihasilkan kopolimerisasi stiren dan butadiene. Komposisi keduanya (mol) menentukan sifat karet ini, pada umumnya perbandingan butadiene dengan stiren adalah 5:1. Karet ini kenyal namun bila kadar stiren lebih dari 50%, karet menjadi kaku. Sulfur ditambahkan untuk membangun struktur tiga dimensi pada proses vulkanisasinya.

Sifat-sifat karet ini diantaranya adalah tak berwarna dan tak tembus cahaya dengan berat jenis 0,92. Keunggulannya dibandingkan karet alam adalah tahan abrasi, range ketahanan temperaturnya lebih lebar (-30 sampai 130⁰C) dan lebih tahan minyak namun tidak tahan terhadap pelarut hidrokarbon aromatik dan terklorinasi. Banyak digunakan sebagai bahan pengemas, ban mobil, kabel, dan lain-lain melebihi karet alam. Karet ini kuat tariknya tidak dapat dinaikkan tanpa pengisi karbon hitam.

c. *Polybutadiene*

Karet ini menggunakan katalis stereospesifik pada proses polimerisasinya dengan struktur *cis-1,4*. Karet *polybutadiene* kebanyakan diproses dengan cara *solution polymerization* yaitu *high cis* 98% dan *low cis* 36%. Karet ini biasanya digunakan untuk campuran SBR dan karet alam. Karet ini mempunyai kepegasan pantul yang baik, fleksibel terhadap

temperatur yang rendah, ketahanan kikis dan retak lenturnya baik. Kekurangannya adalah sulit diproses, tidak tahan terhadap minyak, pelarut hidrokarbon, ozon dan panas, selain itu kekuatan tariknya rendah sehingga biasanya diperkuat dengan bahan pengisi (filler).

d. *Ethylene propylene*

Karet ini disintesis dengan reaksi kopolimerisasi etilen dan propilen, dengan komposisi etilen 40-70 %. Karet ini tidak diawetkan dengan belerang seperti karet lainnya. Karet ini memiliki ketahanan terhadap ozon, cuaca, panas, tegangan listrik dan uap yang lebih tinggi dibandingkan dengan karet biasa dan ketahanan penuaan yang baik. Kelemahannya adalah viskositas, sifat sobek, ketahanan abrasi, daya rekat terhadap tali ban dan sifat pada pengerolannya kurang baik

e. *Butyl*

Karet ini dihasilkan dengan kopolimerisasi isobutilen dengan sedikit isoprene (1,5-5%) dan digunakan pada range temperatur -30°C sampai 150°C . Tahan terhadap minyak, cuaca dan pelarut karena tidak mengandung gugus polar namun larut pada pelarut organik. Kebanyakan karet ini digunakan sebagai isolator listrik.

f. *Neoprene*

Karet ini disebut juga *polychloroprene* dari monomer *chloroprene (2-chlorobutadiene)* yaitu *butadiene* dengan salah satu atom klorin digantikan atom hidrogen. Vulkanisasinya berbeda dengan karet lain dengan tidak menggunakan sulfur. Atom klorinnya direaksikan dengan logam aktif (metal oksida) yaitu kombinasi magnesium oksida atau zinc oksida yang dikombinasikan dengan atom klorin yang membentuk jaringan antar ikatan polimer.

g. *Nitrile (Butadien akrilonitrile kopolimer, NBR)*

Karet ini disintesis dengan kopolimerisasi *butadiene* dengan *akrilonitrile*. Sama dengan SBR sifat karet *nitril* ditentukan komposisi *butadiene* dan *akrilonitrile*. Semakin besar jumlah *akrilonitrile*, maka karet semakin besar kekakuan, kekenyalan dan kuat tariknya dengan perpanjangannya semakin kecil. Karet ini memiliki sifat trasparan dengan warna agak kecoklat-coklatan dengan rapat massanya 0,92. Karet jenis ini memiliki ketahanan abrasi yang baik dan cocok digunakan pada suhu rendah ($T_g = -30^{\circ}\text{C}$). Karet nitril larut oleh pelarut polar

karena mengandung gugus polar (-CN), namun tahan terhadap bensin dan pelarut non polar. Sifat listriknya lebih baik dari pada karet alam dan kekuatannya dapat ditingkatkan dengan pencampuran fenol. Kebanyakan karet ini digunakan sebagai bahan selang, ban dan sepatu.

h. *Polysulphide (Tiokol)*

Karet ini disintesis dengan kondensasi polihalida dan alkali polisulfida. Karet ini kenyal dengan masa jenis 1,5-1,6 dan memiliki ketahanan yang baik terhadap cuaca dan ozon namun kuat tarik dan kekenyalannya rendah. Ikatan polimernya tidak mengkristal pada saat pemuluran karena menggunakan pengisi (filler) untuk memperbaiki kekuatannya. Vulkanisasinya tidak hanya menggunakan sulfur karena tidak memiliki ikatan unsaturated tetapi direaksikan dengan logam oksida reaktif untuk membentuk jaringan ikatannya.

i. *Silicone*

Karet ini tidak terdiri dari ikatan panjang atom karbon seperti karet lainnya tetapi merupakan sequent atom karbon dan oksigen, dan divulkanisasi dengan peroksida untuk menghilangkan methyl (CH_3) sehingga dua ikatan atom C yang berdekatan dapat membentuk crosslink. Strukturnya yang sangat lemah dan cenderung tidak menunjukkan mengkristal pada saat *stretcing* (pemuluran) yang membuatnya dieprkuat dengan filler berupa pigment yang biasanya adalah bubuk serabut silika.

j. *Urethane*

Karet ini memiliki ikatan uretan yang menyebabkannya kenyal. Dihasilkan dari reaksi poliester berantai lurus dan isosianat dengan gugus hidroksil. Karet ini berasal dari modifikasi polimerisasi pemanjangan ikatan dimana makromolekul yang besar dapat dibuat dari makromolekul yang kecil dengan chain extension diisosianat. Selain kenyal yang menguntungkan dari segi mekanik karet ini juga memiliki ketahanan yang baik terhadap cuaca, ozon, dan kimia yang baik.

Sifat-sifat elastomer ditperlihatkan pada Tabel 2.3 tentang sifat-sifat elastomer secara relatif (Monsanto Rubber Chemical Division, 1981).

Tabel 2.3 Sifat-sifat elastomer secara relatif

Sifat	Natural Rubber (NR)	Polyisoprene	SBR	Polybutadiene	Ethylene-propylene	Butyl	Neoprene	Nitrile	Poly sulphide	silicone	Urethane
Tensile strength (gms)	E	E	P	P	P	F	G	P	P	P	. G-E
Tensile strength (reinforced)	E	E	G-E	G	G-E	G	G-E	E	F	F	G
Tear resistance (cold)	G	F	P-F	E	G	G	G	F	G	F	G
Tear resistance (hot)	G	G	F	E	E	F-G	G	P	F	F	G
Abrasion resistance	E	G	G-E	E	E	F-G	E	E	F	F	E
Atmospheric aging resistance	P	P	P	P-F	E	G-E	E	F	E	E	E
Oxidation resistance	G	G	G	G	E	G-E	G	F	E	E	E
Heat resistance	E	G	G	G	G	G-E	G	G	E	E	E
Low temperature flexibility	E	E	G	E	G	F	F	G	F	E	F-G
Compression set	F-G	F-G	P-F	G	G	F	P-F	G	G	E	G
Impermeability	F	G	F	P-F	P-F	E	G	E	E	F	G
Flame resistance	P	P	P	P	P	P	E	P	P	F	G
Alkali resistance	G	G	G	G	G	VG	G	F	G	.	G
Acid resistance (dilute)	G	G	F-G	G	G	E	E	G	G	G	G
Acid resistance (conc)	F-G	F-G	F-G	G	G	E	G	F	P	F	F
Electrical properties	G-E	G-E	G	G	E	G-E	P-F	P	G	E	G-E
Solvent resistance											
Aliphatic hydrocarbons	P	P	P	P	P	P	G	E	E	G	G
Aromatic hydrocarbons	P	P	P	P	P	P	F	F	E	G	P
Chlorinated solvents	P	P	P	P	P	P	P	P	E	G	F
Oxygenated solvents	G	G	G	G	G	G	P	P	E	G	F
Animal & vegetable oils	P-G	P-G	P-G	P-G	P	E	G	E	E	G	G-E

P = Poor, F = Fair, G = Good, VG = Very Good, E = Excellent

NOTE: silicone rubber are effected by aromatic hydrocarbons; good resistance can be obtained by using fluorosilicone rubbers.

2.2.2 Pengisi (*filler*)

Filler adalah bahan tambahan yang digunakan sebagai penguat atau memodifikasi sifat fisik dan untuk mengurangi ongkos produksi. Ada dua macam *filler* yaitu *filler* tidak aktif dan *filler* aktif atau penguat. *Filler* aktif dapat sebagai penguat yang menambah kekerasan, ketahanan sobek, ketahanan kikis, dan tegangan putus yang tinggi pada hasil akhir. Sedangkan *filler* tidak aktif hanya akan menambah kekerasan dan kekakuan pada karet, sedangkan kekuatan dan sifat yang lainnya akan berkurang dan biasanya digunakan untuk menekan biaya produksi, sebagai contoh adalah *kaolin*, tanah liat, *kalsium karbonat*, *magnesium karbonat*, *barium sulfat*, dan *barit*. Sedangkan *filler* aktif seperti *carbon black*, *silika*, dan *magnesium silikat*. Terdapat beberapa jenis *carbon black* yang dibedakan atas ukuran partikelnya yaitu:

1. FEF (*Fast Extruding Furnace*) dengan ukuran partikel 40 nm, luas permukaan 40 m²/g.
2. HAF (*High Abrasion Furnace*) dengan ukuran partikel 28 nm, dan luas permukaan 65-70 m²/g.
3. SAF (*Super Abrasion Furnace*) dengan ukuran partikel 19 nm, dan luas permukaan 110-120 m²/g. *carbon black* ini digunakan pada skala terbatas.
4. ISAF (*Intermediate Super Abrasion Furnace*) dengan ukuran partikel 23 nm, dan luas area 100 m²/g.

(Morton Maurice, 1973).

Penguatan oleh *filler* pada dasarnya berhubungan dengan terbentuknya komposit dari dua struktur elemen atau lebih dengan sifat mekanik yang berbeda atau dengan kata lain komposit dari elemen-elemen tersebut menjadi suatu kesatuan produk yang lebih baik. Pada karet alam dengan proses vulkanisasi tanpa *filler carbon black* memiliki kuat tarik 450 kg/cm² (6500 Psi) pada perpanjangan (*elongation*) 700%, setelah karet alam diberikan *filler carbon black* 50 phr kuat tariknya menjadi 350 kg/cm² (5000 Psi) pada perpanjangan 550%. Berarti penguatan bukan peningkatan pada kuat tarik atau perpanjangan tetapnya, akan tetapi peningkatan pada modulus dan sifat kekurangannya seperti ketahanan sobek, ketahanan kikis, pampatan, maupun kekerasannya dari *vulkanisat* yang akan dicapai (Morton Maurice, 1973).

Pengaruh partikel *filler* pada *elastomer* tergantung pada beberapa factor yang dikelompokkan dalam faktor *extensity*, faktor

intensity, dan faktor geometri. Faktor *extensity* adalah total luas area persentuhan permukaan *filler* per cm^3 pada campuran dengan *elastomer*. Faktor *intensity* merupakan aktifitas permukaan atau aktivitas antar muka yang ditunjukkan dengan sifat fisik dan kimia dari permukaan *filler* dengan *elastomer*. Faktor geometri menjelaskan struktur *filler* yang ditunjukkan oleh kekosongan ruang pada *vulkanisat* (Morton Maurice, 1973).

Total luas area permukaan luar dari partikel padatan *filler* sebanding dengan ukuran partikelnya. Untuk partikel *carbon black* berukuran yang sama dengan berat jenis $1,85 \text{ g/cm}^3$ adalah sebagai berikut:

$$A_s = \frac{3200}{d}$$

Dimana A_s adalah area permukaan (m^2/g) dan d adalah diameter (mm atau 10^9 nm). Hal tersebut memberikan pemahaman pada keteraturan akan hubungan antara area permukaan dan ukuran partikel. Ukuran atau luas area partikel merupakan hal yang sangat penting dalam penguatan. *Filler silikat* tersusun atas $400 \text{ m}^2/\text{g}$ dan *carbon black* $1000 \text{ m}^2/\text{g}$. Besarnya luas area antar muka antara partikel *filler* dan *elastomer* per cm^3 campuran karet tergantung pada area permukaan per gram *filler* dan jumlah *filler* pada campuran. Campuran karet dengan *filler* ISAF(N220) 50 phr memiliki 35 m^2 antar muka per cm^3 campuran dan HAF 25 m^2 per cm^3 . Semakin besar antar muka *filler* dengan *elastomer* maka kuat tarik meningkat, histerisis meningkat, daya abrasi meningkat, konduktivitas listrik meningkat untuk *carbon black*, dan viskositas meningkat (Morton Maurice, 1973).

Aktivitas permukaan secara ilmu fisika dibedakan menurut kapasitas adsorpsi dan energi adsorpsinya. Permukaan *filler* bila ditinjau dari ilmu kimia bermanfaat dalam proses *vulkanisasi* dan bila ditinjau dari ilmu fisika atau aktifitas adsorpsi dari permukaan *filler* sangat bermanfaat dalam menentukan sifat mekanik *vulkanisat* yang diinginkan. Aktifitas adsorpsi *carbon black* tidak terdistribusi secara homogen akan tetapi terkonsentrasi pada jumlah tempat aktifitasnya. Aktifitas tersebut hanya dalam persentase kecil, kurang lebih 5% dari total permukaan. Keaktifan tersebut akan meningkat saat terjadi kekurangan permukaan pada latek dan permukaan tersebut menjadi homogen dengan adanya aktivitas adsorpsi. Hal inilah yang berdampak terjadinya penguatan pada karet dengan *filler carbon black*. Pada karet dengan *filler carbon black* terjadi

penurunan kuat tarik dan perpanjangan tetap hanya 10-15% dari karet dengan tanpa *filler* namun meningkat pada sifat yang lain seperti ketahanan pada penuaan, ketahanan kikis, kekerasan, ketahanan lelah, dan ketahanan sobek (Morton Maurice, 1973).

Karakteristik geometri meliputi partikel utama, kekosongan ruang, dan anisometri dalam kesatuan partikel *carbon black*. Karakteristik tersebut dapat dilihat dengan mikroskop elektron sebagai kumpulan partikel primer dalam bentuk bola. Semakin banyak penyimpangan bentuk partikel (ketidaksamaan ukuran partikel) akan berpengaruh pada penurunan densitas. Kekosongan ruang digunakan dalam mengetahui struktur dengan mengukur daya serap terhadap minyak atau dengan mengukur sifat pampatan dari *filler* kering. Dengan penambahan *carbon black* akan memperkecil kekosongan ruang sehingga terjadi peningkatan densitas, meningkatkan kekerasan, dan meningkatkan pampatan tetap dari *vulkanisat* (Morton Maurice, 1973).

2.2.3 Agen vulkanisasi.

Agen vulkanisasi dibutuhkan untuk membentuk *crosslink* dari rantai karet sehingga terjadi hubungan tiga dimensi pada ikatannya dengan tujuan mampu menghasilkan sifat atau *properties* fisis yang diinginkan pada produk akhir, contoh agen *vulkanisasi* adalah *sulfur* dan *zinc oxide*. *Sulfur* mampu membentuk *crosslink* tiga dimensi antar ikatan *polymer* karet. Di samping itu, ada beberapa karet yang tidak bisa menggunakan *sulfur* sebagai agen vulkanisasi seperti *hypalon*, *neoprene*, dan *fluoroprene*. Agen vulkanisasi selain *sulfur* adalah logam oksida, *peroksida*, dan *difuncional compounds*. Agen vulkanisasi tanpa *sulfur* dapat dilihat pada Tabel 2.4 (Morton Maurice, 1973).

Tabel 2.4 Agen vulkanisasi tanpa *sulfur*

Campuran	Penggunaan (<i>phr</i>)
<i>Metal oxides</i>	
<i>Zinc oxide</i>	5 (<i>neoprene</i>)
<i>Litharge</i>	25 (<i>hypalon</i>)
<i>Magnesia/pentaerythritol</i>	4/3 (<i>hypalon</i>)

Difunctional compounds	
<i>Phenolic resins</i>	12 (<i>butyl</i>)
<i>p-quinonedioxime</i>	2 (<i>butyl</i>)
<i>hexamthylenediamine carbamate</i>	<1.5 (<i>fluororubber</i>)
Peroxides	
<i>Dicumyl peroxide (40%)</i>	2(<i>silicone</i>),5(<i>urethane</i>)
<i>2,5-bis (t-butylperoxy) 2,5 dimethylhexane</i>	2(<i>polyethylene or EPM</i>)

2.2.4 Pemercepat (*accelerator*) dan pengaktif *accelerator*.

Penggunaan *accelerator* adalah untuk membantu dalam mengontrol waktu dan temperatur yang di butuhkan dalam proses vulkanisasi dengan tujuan meningkatkan *property* dari vulkanisat. Pengurangan waktu yang dibutuhkan dalam vulkanisasi dapat terpenuhi dengan merubah jumlah dan jenis *accelerator* yang digunakan. Ada dua sistem *accelerator*, yaitu:

1. Sistem *singel accelerator*, yaitu menggunakan *accelerator* primer yang cukup untuk menghasilkan perlakuan yang diinginkan dalam vulkanisasi dengan waktu tertentu.
2. Kombinasi dengan dua atau lebih *accelerator*, terdiri dari *accelerator* primer yang digunakan dalam jumlah besar dan *accelerator* sekunder dalam jumlah kecil (10-20% dari total *accelerator*) dengan tujuan untuk mengaktifkan dan meningkatkan sifat vulkanisat. kombinasi ini biasanya menghasilkan dampak yang sinergi dalam menentukan sifat akhir yang lebih baik.

Accelerator adalah zat kimia yang mampu mempercepat reaksi *crosslink* (proses vulkanisasi). Pengelompokan *accelerator* diperlihatkan pada Tabel 2.5 (Monsanto Rubber Chemical Division, 1981).

Table 2.5 Pengelompokan *accelerator*

Class	Speed	Tradenames
Guanidines(DPG, DOTG)	Medium	DPG, DOTG
Thiazoles(MBT, MBTS)	Semi-fast	Thiofide, thiotax
Sulfenamides(CBS, TBBS, MBS)	Fast, delayed action	Santocure, santocure NS, Santocure MOR
Thiurams(TMTD, TETD, TMTM)	Very fast	Thiurad, Mono Thiurad
Dithiocarbamates(ZMDC, ZEDC)	Super fast	Methasan, Ethasan

Pada sistem kombinasi *accelerator*, kelas *Thiazoles* dan *Sulfenamides* dikelompokkan dalam *accelerator* primer dan *accelerator* sekunder meliputi *Guanidines*, *Thiurams*, dan *Dithiocarbamates*.

Pengaktif *accelerator* (*Aktivator accelerator*) berfungsi mengaktifkan *accelerator* untuk bekerja secara efektif. *Aktivator* ini dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu:

1. Senyawa inorganik

Senyawa *inorganic* sebagian besar yang digunakan adalah oksida logam (*metal oxides*), senyawa ini meliputi *zinc oxide*, *hydrated lime*, *litharge*, *red lead*, *white lead*, *magnesium oxide*, *alkali carbonates*, dan *hidroxides*. Pada umumnya oksida logam ini digunakan sebagai aktivator pada campuran karet sebesar 2-5 phr.

2. Asam organik

Asam organik biasanya digunakan dalam kombinasi dengan oksida logam. Adapun jenis dari campurannya adalah minyak *stearic*, *oleic*, *lauric*, *palmitic*, *myristic acid*, *castor*, *fish*, dan minyak *linseed* (*linseed oil*). Asam organik ini digunakan sebagai *aktivator* pada campuran karet sebesar 1-3 phr.

3. Unsur *alkaline*

Unsur *alkaline* dapat meningkatkan pH dari campuran karet, jenis unsur *alkaline* meliputi *ammonia*, *amines*, *salt of amines* dengan asam lemah, karet *reclaimb* yang terbuat dari proses alkali. Adapun jenis *aktivator* ditunjukkan pada Tabel 2.6 (Morton Maurice, 1973).

Tabel 2.6 Jenis pengaktif *accelerator*

Jenis	Sp. Gr.
Metal oxides	
Zinc oxide, lead free (american process)	5.6
Zinc oxide, lead free (french process)	5.6
Red lead (98% Pb ₃ O ₄)	9.0
Magnesium oxide	3.38
litharge	9.5
Organic acids	
Hydrogenated stearic acid	-
Lauric acid	0.87
Stearic acid	1.02
Oleic acid	0.89
Amines	
Diethanolamine	1.09
trithanolamine	1.12

2.2.5 Penghambat penuaan

Semua karet terpengaruh oleh proses alami atau percepatan penuaan, hal ini terjadi karena adanya perubahan rantai ikatannya, ikatan *crosslink*, atau perubahan kimianya yang lain, perubahan ini dikarenakan adanya interaksi dengan pembawa penuaan seperti *ozone*, *oxygen*, *pro-oxidant*, panas, cahaya, dan radiasi. Penghambat penuaan harus mampu berinteraksi dengan pembawa penuaan sehingga dapat mencegah atau memperlambat terjadinya kerusakan polimer (Morton Maurice, 1973).

2.2.6 Pelunak (*softener*)

Komponen yang termasuk *softener* adalah komponen yang tidak dapat bereaksi secara kimia namun berfungsi dalam modifikasi karakter fisik campuran karet atau membantu memaksimalkan proses vulkanisasi, di samping itu *softener* juga digunakan sebagai pembantu proses (biasanya 2-10 phr) atau untuk mengubah produk akhir (lebih dari 100 phr), pada pemakainya *softener* harus sesuai dengan jenis karet dan campuran lain yang digunakan dalam resep. Ketidakesesuaian jenis *softener* akan menghasilkan proses produksi

dan produk akhir yang buruk. Adapun sifat *softener* dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut (Morton Maurice, 1973):

Tabel 2.7 Sifat *softener*

	Sifat	Keterangan
Fatty acids		1. <i>Improve tubing</i>
Cotton seed	1	2. <i>Better tack</i>
Ricinoleic	1	3. <i>Increased plasticity</i>
lauric	1	4. <i>Low modulus</i>
Vegetable oil		5. <i>Increased tensile</i>
Gelled oils	1,6,12,13	6. <i>Improve elongation</i>
Solid soya	4	7. <i>Softer cured stocks</i>
Tall oil	4,5,13	8. <i>Harder cured stocks</i>
Soya polyester	13	9. <i>Higher rebound</i>
Petroleum products		10. <i>Better tear</i>
Unsaturated	1	11. <i>Low hysteresis</i>
Mineral oils	3,4,6,7,9,11	12. <i>High hysteresis</i>
Unsaturated asphalt	3	13. <i>Improve flex life</i>
Certain asphalts	7,10,11	
Coal tar product		
Coal tar pitch	1	
Soft cumars-tars	3	
Soft coal tar	5,6	
Cumars resins	5,11	
Pine product		
Crude gum turpentine	2,4,5,12,13	
Rosin oil	2,5,6	
Rosin	2,8,12	
Pine tar	3,4,5,6,7	
Dipentene	6,13	

<i>Certain rosins</i>	13
<i>Esters</i>	
<i>Dicapryl phthalate</i>	3
<i>Butyl cuminate</i>	9
<i>Dibutyl phthalate</i>	9
<i>Butyl lactate</i>	10
<i>Glycerol chlorobenzoate</i>	10
<i>Chlorodibutyl carbonate</i>	13
<i>Methyl ricinoleate</i>	2

2.2.7 Komposisi tambahan.

Material jenis ini digunakan di mana beberapa pengaruh partikel atau sifat yang dibutuhkan dalam vulkanisasi. Contoh dan fungsi dari material ini diperlihatkan pada Tabel 2.8 berikut (Morton Maurice, 1973):

Tabel 2.8 Contoh dan fungsi dari komposisi tambahan

Jenis	Contoh
<i>Abrasive</i>	<i>Pumice (ground)</i>
<i>Blowing agent</i>	<i>Azodicarbonamide</i>
<i>Colorants</i>	<i>Titanium dioxide (white)</i> <i>Cadmium oxide (red)</i>
<i>Flame retarders</i>	<i>Antimony oxide</i>
<i>Internal lubricant</i>	<i>Primary tallow amine</i>
<i>Odorant</i>	<i>Methyl salicylate</i>
<i>Promoter</i>	<i>p-dinitrosobenzene</i>
<i>Retarder</i>	<i>salicylic acid</i>

a. *Abrasive*

Adapun contoh material yang mendukung sifat ini adalah *ground silika* dan *pumice*.

b. *Blowing agent*

Agen *blowing* adalah suatu zat kimia yang mampu menghasilkan gas yang dibutuhkan untuk memberikan spon yang

padat atau karet dengan daya serap sangat kecil (*microporous rubber*). Agen ini harus mampu melepaskan gas selama waktu *vulkanisasi*, contoh dari agen ini adalah *azo compounds* dan *carbonates*.

c. *Colorants*

Colorant adalah material yang digunakan untuk memberikan warna *nonblack* (pewarna) pada barang yang menggunakan pigmen *inorganic* atau juga celupan organik. Contoh dari material ini adalah *titanium dioxide* (putih) dan *cadmium oxide* (merah).

d. *Flame retardants*

Zat ini mampu mengurangi *flamability*, contoh dari *flame retardant* adalah *chlorinated hydrocarbons*, *phosphate* dan *antimony compounds*.

e. *Odorants*

Odorant berfungsi sebagai zat aromatik yang bisa memberikan berbagai macam aroma.

f. *Promoters*

Sebagai contoh dari zat ini adalah *nitroso* dan *dioxime* yang diharapkan mampu memberikan penguatan ketika ditambahkan karet *carbon black*.

g. *Retarders*

Komponen ini mampu mengurangi aktivitas *accelerator* selama proses, hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya penghangusan selama proses dan komponen ini harus tidak mengganggu aktivitas *accelerator* selama pemanasan normal. Pada umumnya, material yang digunakan adalah asam organik (*organic acids*) dan berfungsi dengan mengurangi pH dari campuran sehingga memperlambat vulkanisasi (Morton Maurice, 1973).

2.3 Formulasi

Formulasi adalah proses pembuatan resep atau menentukan jenis-jenis komponen pada campuran dan persentase tiap komponen tersebut. Dalam proses ini diperlukan pemilihan komponen sehingga hasil dari vulkanisat memiliki sifat yang diharapkan. Sifat tersebut meliputi sifat kekerasan, pampatan tetap, pampatan dengan beban 6000Kgf, dan perpanjangan tetap.

Kekerasan (*hardness*) dapat diperkirakan dengan mengubah beberapa komponen dalam campuran yang meliputi elastomer, *filler*, dan *softener*. Adapun pengaruh komponen tersebut pada kekerasan

ditunjukkan pada Tabel 2.9 berikut (Monsanto Rubber Chemical Division, 1981):

Tabel 2.9 Pengaruh tiap komponen pada kekerasan vulkanisat

100 part of polymer	Hardness (shore A)
Neoprene dan nitrile rubber	+44
Natural rubber dan cold rubber	+40
Hot rubber	+37
Butyl	+35
25 part oil-extended cold rubber	+31
37,5 part oil- extended cold rubber	+26
Filler dan softener	Hardness (shore A)
FEF, HAF, channel black	+1/2 of part loading
ISAF black	+1/2 of part loading (+2)
SAF black	+1/2 of part loading (+4)
SRF black	+1/3 of part loading
Thermal black dan hard clay	+1/4 of part loading
Whiting (pada karet alam)	+1/7 of part loading
Factice dan mineral rubber	-1/5 of part loading
Most liquid softener	-1/2 of part loading

Sumber: philips petroleum co.”rubber compounding formulary)

Perpanjangan tetap, dan pampatan tetap dapat diperkirakan dengan melakukan pemilihan terhadap jenis elastomer dan *filler*. Di bawah ini adalah contoh dari formula dan sifat setelah menjadi vulkanisat (Malaysian Rubber Producers’ Research Association, 1984):

Tabel 2.10 Contoh formula campuran

Formulation	1	2	3
Nominal hardness	50	60	70
SMR CV60	100	100	100
550, FEF black	20	40	60
Light oil	2	4	6
Zinc oxide	5	5	5
Stearic acid	2	2	2
Antidegradant,HPPD	3	3	3
Wax blend	2	2	2
Sulphur	1,5	1,5	1,5
CBS	1,5	1,5	1,5

Tabel 2.11 Sifat vulkanisat dari formula pada tabel 2.10

formulation	1	2	3
Cure: 45 min at 140°C			
Hardness, IRHD	51	62	70
Density, Mg/m ²	1,03	1,09	1,14
MR 100, Mpa	1,14	1,67	2,60
Resilience. Lupke, %	81	72	63
Tensile properties			
M300, Mpa	4,7	9,3	14,2
TS, Mpa	29	26	21,5
EB, %	640	565	445
Tear, ISO trouser			
23°C, medium, kN/m	5,9	17	18
Ring fatigue life, 0-100% strain median, kc	187	104	120
Compression set, %			
1 day at -26°C	25	29	34
7 days at -10°C	12	15	18
1 day at 0°C	8	9	8
3 days at 23°C	8	8	9
1 day at 70°C	18	19	21
1 day at 100°C	44	44	44

2.4 Metode Pembuatan Spesimen Karet

2.4.1 Pencampuran

Pencampuran ini digunakan untuk mencampur komponen-komponen yang ada dalam formula atau resep sehingga menjadi campuran (*compound*) dan dilakukan setelah komponen-komponen yang dibutuhkan ditimbang sesuai dengan ukuran dalam resep. Kebanyakan metode yang digunakan dalam pabrik maupun laboratorium adalah dengan menggunakan *mill mixer* dan *banbury mixer*, dan dengan menggunakan ketentuan-ketentuan dalam standart ASTM (American Society Testing and Materials).

2.4.2 Vulkanisasi

2.4.2.1 Sistem vulkanisasi

Terdapat beberapa jenis sistem vulkanisasi dengan sulfur pada karet alam yaitu sebagai berikut:

a. Conventional

Sulphur 2-3.5 + 0.5-1 sulphenamide

Sulphur 2-3.5 + 0.5-1 thiazole + 0.1-0.5 DPG atau TMTM

Sulphur 2-3 + 0.3 thiuram atau dithiocarbamate

b. Semi-EV range

Sulphur 2 + 1 sulphenamide

- Sulphur 1.5 + 1.5 sulphenamide*
- Sulphur 1.0 + 2 sulphenamide*
- Sulphur 1.5 + 0.6 DTDM + 0.6 sulphenamide*
- Sulphur 1.2 + 1.0 thiocarbamylsulphenamide*
- Sulphure 1 + 1 MBTS + 1 Zinc dialkyldithiophosphate*

c. EV sistem

- Low sulphur system*
- Sulphur 0.7 + 1.7 MBS + 0.7 TBTD. Soluble EV*
- Sulphur 0.6 + 1.6 DTDM + 1.0 sulphenamide*
- Sulphur 0.6 + 1.1 MBS + 1.1 thiocarbamylsulphenamide*
- Sulphur 0.5 + 6 CBS*
- Sulphur 0.3 + 3 CBS + 2 TMTD. High modulus*
- Sulphur 0.25 + 1.8 CBS + 1.2 TMTD. lower modulus.*

(Malaysian Rubber Producers' Research Association, 1984).

Pada buku '*compounders handbook*' menjelaskan beberapa sistem vulkanisasi sulfur pada karet alam seperti ditunjukkan pada Tabel 2.12 berikut (Monsanto Rubber Chemicals Division, 1981):

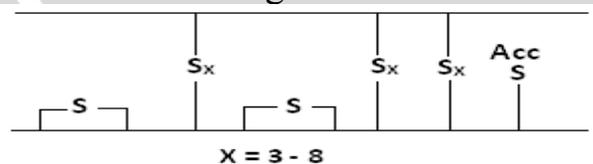
Tabel 2.12 Sistem vulkanisasi sulfur

Sistem	Sulfur	sulfenamide	Sulfasan. R	Thiurad
convensional	2.5	0.6	-	-
Semi-EV	1.5	1.5	-	-
Semi-EV	1.5	0.5	0.6	-
EV	0.5	5.0	-	-
EV	-	1.0	1.0	1.0

Terdapat tiga jenis sistem vulkanisasi dengan sulfur yaitu:

1. Sistem konvensional

Jenis *krosslink* yang terjadi pada sistem konvensional pada karet alam 100 phr dengan *accelerator* santocure sebesar 0,6 phr adalah seperti Gambar 2.11 sebagai berikut:



Gambar 2.12 Ikatan *krosslink*

Dari Gambar 2.12 tidak terjadi *crosslink monosulfid*, 20% *disulfid*, dan 80% *polysulfid*. *Krosslink monosulfid* dan *disulfid* memiliki kestabilan terhadap suhu dan zat kimia yang relatif tinggi, sedangkan

krosslink polysulfid bersifat lebih reaktif terhadap perubahan suhu dan zat kimia sehingga mudah terjadi penuaan dan mengakibatkan perubahan fisik pada *vulkanisat*. Dengan bertambahnya umur *vulkanisat* karet alam dengan sistem konvensional terjadi penurunan *krosslink polisulfid*, peningkatan *krosslink monosulfid*, dan sulfur yang terikat pada rantai *cyclic sulfid* meningkat sehingga *vulkanisat* akan kehilangan sifat fisis seperti penurunan kuat tarik dan perpanjangannya (*elongation*). *Krosslink polysulfid* memberikan sifat ketahanan lelah yang terbaik dibandingkan sistem *vulkanisasi* yang lain (Monsanto Rubber Chemicals Division,1981).

2. Sistem EV

Istilah efisien adalah efisiensi penggunaan sulfur. Pada sistem EV sebagian besar *krosslink* yang terbentuk adalah *mono* dan *disulfid* yang memiliki keuntungan yaitu kestabilan terhadap suhu dan zat kimia yang relatif tinggi, dan *krosslink* yang terjadi lebih pendek dan modifikasi rantai utama sedikit. sistem EV dilakukan dengan menggunakan campuran sulfur dengan donor sulfur dari *accelerator* dalam jumlah yang lebih besar dari pada sulfur. Bila dibandingkan dengan sistem konvensional, *vulkanisat* yang dihasilkan memiliki penghambatan yang lebih baik karena kestabilan terhadap suhu dan zat kimia yang tinggi namun ketahanan lelahnya lebih rendah (Monsanto Rubber Chemicals Division,1981).

3. Sistem semi-EV

Sistem semi-EV menggunakan perbandingan *accelerator* dan sulfur yang seimbang. Sistem ini banyak digunakan karena menawarkan kompromi atau bisa dikatakan pertengahan antara sistem konvensional dan EV. Sistem semi-EV dan konvensional memerlukan perlakuan yang relatif cepat atau waktu *vulkanisasi* yang pendek (Monsanto Rubber Chemicals Division,1981).

2.4.2.2 Kondisi vulkanisasi

Proses vulkanisasi atau pemasakan (*curing*) dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah:

a. Faktor *ketebalan*

Efek ini menentukan waktu untuk mencapai kondisi masak pada karet yang divulkanisasi yaitu setiap ketebalan 0,25 inch waktu vulkanisasinya ditambah 5 menit.

b. Faktor *temperatur*

Temperatur vulkanisasi diatur untuk menghasilkan produk yang masak (*cure*) dengan sifat fisik yang merata (*uniform*) dengan waktu pencetakan (*molding*) secepat mungkin.

Koefisien termal vulkanisasi digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara waktu masak (cure) karet pada temperatur berbeda. Dengan parameter ini dapat diperkirakan pada jenis compound karet tertentu waktu matang (cure) optimum pada temperatur tertinggi dan terendah (Monsanto Rubber Chemicals Division, 1981).

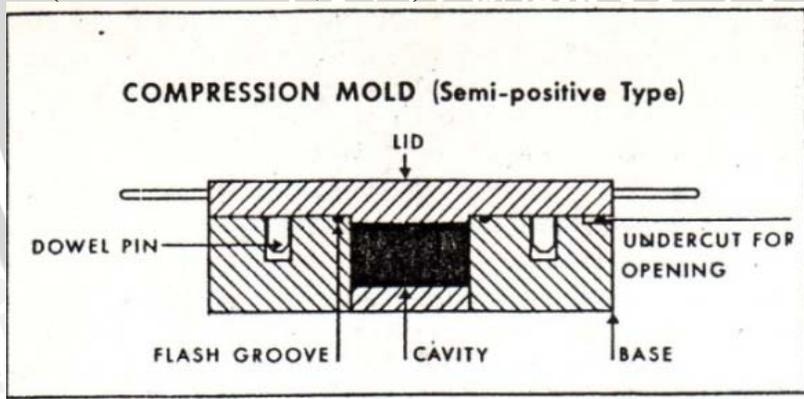
$$t_1 = \frac{t_2}{1,5^{10 \frac{(T_2 - T_1)}{10}}} \dots\dots\dots(5)$$

2.4.2.3 Teknik vulkanisasi

Teknik vulkanisasi atau lebih dikenal sebagai pencetakan yang biasa digunakan dalam dunia industri diantaranya yaitu :

a. Cetak tekan (*Compression molding*)

Mekanismenya yaitu dengan menempatkan *compound* karet dengan bentuk dasar kedalam dua lapisan cetakan yang tertutup kemudian ditekan sehingga sesuai dengan bentuk cetakan. Pencetakan ini disertai dengan proses pemanasan yang sesuai sampai matang kemudian didinginkan dalam udara terbuka. Metode ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.13 berikut(Morton Maurice, 1973):

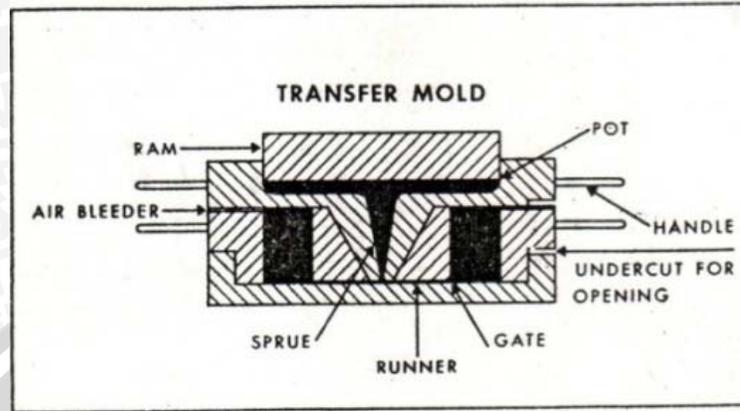


Gambar 2.13 Skema alat cetak tekan

b. Cetak transfer

Skema peralatannya ditunjukkan Gambar 2.14, prinsip kerjanya dengan mengalirkan *compound* karet yang belum matang kedalam lubang cetakan. Cetakan ini digunakan untuk menghasilkan bentuk yang lebih kompleks. Cetakan ini lebih mahal dari pada cetak tekan namun kelebihan lainnya proses pemasakannya membutuhkan waktu lebih singkat dari pada

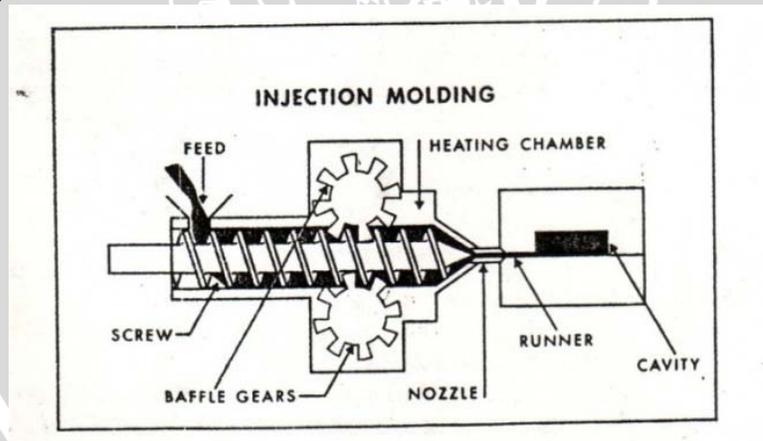
cetak tekan. Transfer panas juga lebih baik karena tekanan yang diberikan lebih besar dari pada cetak tekan (Morton Maurice, 1973).



Gambar 2.14 Skema alat cetak transfer

c. Cetak injeksi

Teknik ini banyak digunakan dalam pembuatan plastik dan dapat membentuk *compound* karet dengan kuantitas yang kecil atau sedikit. Waktu matangnya biasanya dengan menggunakan kontrol temperatur hati-hati. Kontrol temperatur tersebut biasanya diatur dengan program (Morton Maurice, 1973).



Gambar 2.15 Skema alat cetak injeksi

2.4.2.4 Pengujian vulkanisasi.

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kelakuan campuran karet (*compound*) pada saat fase vulkanisasi. Pengukurannya dapat menggunakan tiga teknik yaitu metode kimia, metode fisika dan metode penghitungan berlanjut (*curemeters*).

a. Metode fisika

Metode klasiknya dengan cara memvulkanisasi lembaran (sheets) karet pada suhu tertentu kemudian dilakukan uji stress-strain, hasil keduanya diplot dalam grafik membentuk suatu fungsi (waktu vulkanisasi). Metode ini biasanya dikombinasikan dengan test *schorc mooney* untuk mengetahui waktu vulkanisasi yang dibutuhkan untuk mengoptimalkan sifat-sifat tertentu seperti modulus, dan kuat tariknya.

b. Metode kimia.

Metode ini adalah dengan menghitung banyaknya kandungan sulfur bebas dalam karet. Metode ini jarang digunakan karena lama dan biayanya lebih besar. Selain itu, sulfur bebas tidak ada korelasinya dengan *crosslink* dan sifat fisiknya.

c. Metode penghitungan berlanjut.

Metode ini menggunakan satu *spesimen* uji yang diukur selama proses vulkanisasi sehingga lebih objektif dari pada metode dengan banyak *spesimen* pada waktu vulkanisasi yang berbeda. Alat uji yang digunakan adalah viskometer mooney, namun kelemahan metode ini adalah modulus didapat pada saat belum melewati titik scorch sehingga kurang valid. Namun hal itu sudah mampu diatasi dengan perkembangan peralatan curemeter. Alat yang biasa digunakan untuk mengujinya adalah rheometer. Perubahan modulus dimonitor selama vulkanisasi, sehingga dari grafiknya dapat diketahui kekakuan maksimum dan minimumnya. Cara kerjanya adalah *spesimen* (karet uji) dilubangi dengan ukuran tertentu dengan suatu tekanan positif kemudian digerakkan memutar pada temperatur tertentu sehingga waktu masaknya dapat diketahui dari grafik pada saat sifat mekaniknya maksimal atau lama waktu vulkanisasi yang terbaik yang biasa disimbolkan dengan *t90*.

(Morton Maurice, 1973).

2.5 Pengujian Vulkanisat

Pengujian ini dilakukan setelah proses vulkanisasi selesai atau sudah menjadi produk akhir walaupun masih belum mengalami tahap pembentukan. Pengujian yang dilakukan harus sesuai dengan standard yang berlaku baik standard internasional (ISO) maupun standard negara-negara tertentu seperti ASTM (amerika), JIS (jepang), SII atau SNI (indonesia) dan lain-lain. Pengujian ini terdiri dari beberapa jenis, di antaranya yaitu:

2.5.1 Pengujian kuat tarik.

Pengujian kuat tarik dihitung dengan perbandingan antara gaya yang dikenakan dengan luas areanya (*stress*) dibagi dengan perpanjangannya. Pengujian ini menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan yang disebut dengan *modulus elastisitas* dan juga pemanjangannya (*elongation*). Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komposisi pencampuran sesuai dengan takaran yang ditetapkan dan mengetahui kuat tarik produk akhirnya. Perpanjangan (*elongation*) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Perpanjangan (elongation), percent} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana L adalah panjang akhir spesimen karet setelah diberi tegangan (*stress*) dan L_0 adalah panjang mula-mula.

Pengujian kuat tarik adalah dengan cara menjepit kedua ujung spesimen karet kemudian ditarik dengan gaya tertentu sampai putus atau melar. Perpanjangan yang dihasilkan dicatat dan kemudian diplot dengan tekanan yang dikenakannya. Modulus elastisitasnya dinyatakan dalam kg/cm^2 atau N/mm^2 sedangkan perpanjangan putusnya dinyatakan dengan persentase (%) (Morton Maurice, 1973).

2.5.2 Pengujian kekerasan.

Kekerasan adalah salah satu parameter yang sulit untuk dikuantifikasi karena beberapa alasan yaitu definisi dari skala titik akhirnya, bentuk dan ukuran titik lekukannya atau ukuran jarum penusuk (*indenter point*), total beban yang dikenakan, jumlah dan waktu pengenaan pembebanan. Alat yang paling banyak digunakan adalah *Shore durometer (ASTM D2240)*. Prinsip kerjanya menggunakan jarum penusuk dengan ukuran standard yang dihubungkan dengan tekanan pegas yang menekan karet dengan beban tertentu. Karet memberi reaksi berupa tekanan balik pada jarum penusuk sehingga menekan kembali pada alat pengukur yang dialihkan ke jarum penunjuk skala. Jarum skala akan mengkonversi besaran kekerasan dengan standard tertentu (Morton Maurice, 1973).

2.5.3 Pengujian pampatan tetap

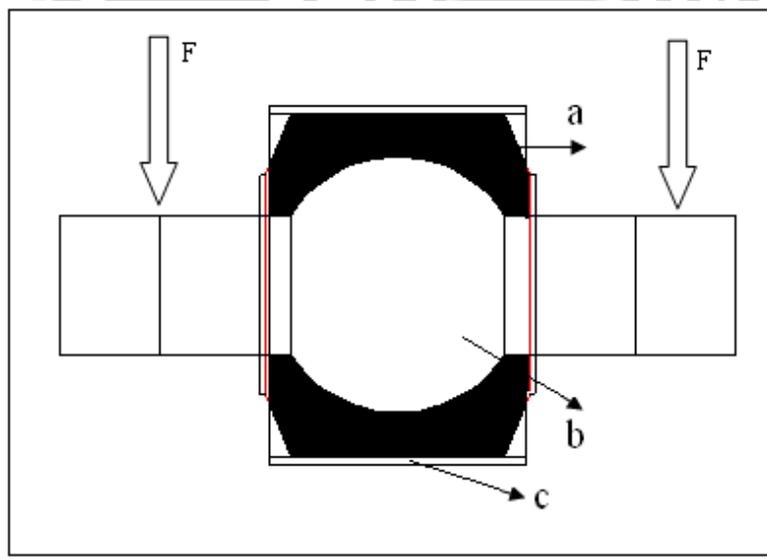
Pengujian dilakukan pada karet uji (*spesimen*) dengan memberikannya tekanan dengan besar tertentu, rentan waktu tertentu, dan pada suhu tertentu. Setelah itu pembeban dilepaskan selanjutnya dihitung perubahan volume *spesimen* dibandingkan dengan volume awalnya dalam persentase (Morton Maurice, 1973).

2.6 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Besar Nilai Deformasi Sampel *Rubber Bushing*.

Faktor-faktor ini dapat dikaji dengan menggunakan hukum ketiga Newton yang biasa dinamakan hukum interaksi atau hukum aksi reaksi. Hukum ketiga Newton ini mengatakan apabila terdapat gaya yang bekerja pada suatu benda maka benda tersebut akan memberikan gaya dengan arah yang berlawanan. Dalam menjelaskan faktor tersebut perlu dilihat bentuk dimensi dari sampel *rubber bushing* dan arah gaya-gaya yang bekerja padanya.

2.6.1 Faktor yang mempengaruhi deformasi radial

Faktor-faktor tersebut seperti terlihat pada Gambar 2.16 berikut:



Gambar 2.16. Sampel *rubber bushing* dengan gaya radial.

Keterangan dari Gambar 2.16 adalah sebagai berikut; F adalah gaya yang menyebabkan terjadinya deformasi radial, a adalah spesimen karet *rubber bushing*, b adalah kern axle, dan c adalah kern bagian luar. Spesimen karet melekat pada permukaan kern seperti terlihat pada gambar. Apabila gaya F bekerja pada *rubber bushing* maka gaya tersebut akan memberikan tekanan pada spesimen karet dengan luas penekan yang sesuai dengan bentuk dari kern axle.

Hubungan luas penekan dan besar tekanan adalah seperti persamaan berikut:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(6)$$

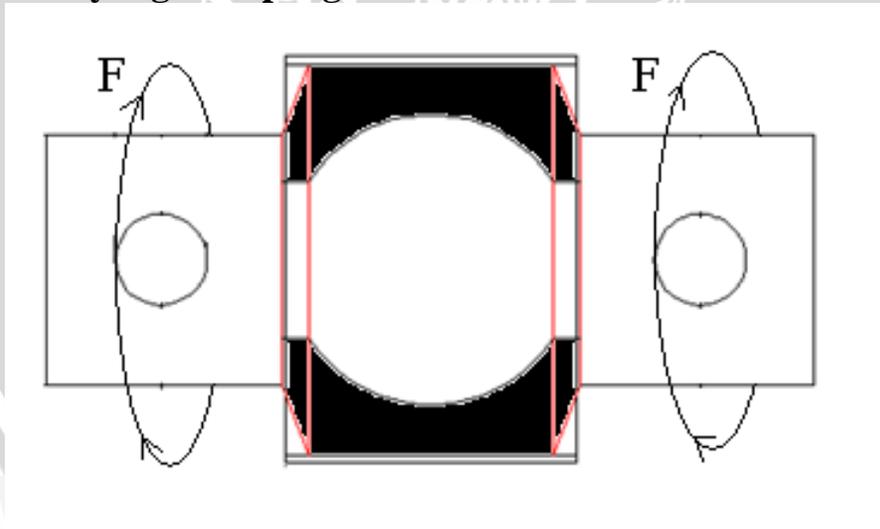
Dimana P adalah besar tekanan (Pa), F adalah gaya yang bekerja pada permukaan spesimen bagian bawah (N), dan A adalah besar luasan penampang yang menekan suatu bidang dalam arah tegak lurus dengan permukaan bidang (m^2). Tekanan P tersebut berperan sebagai tekanan σ pada karet sehingga dari persamaan (1) dan (6) terdapat hubungan antara luasan penampang A dengan deformasi karet (ε) seperti berikut:

$$P = \sigma \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{F}{A} = E \cdot \varepsilon \dots\dots\dots(8)$$

Disamping besar tekanan yang mempengaruhi besar deformasi radial, gaya perlawanan dari spesimen yang menempel atau merekat dengan kern axle pada bagian atas juga memberikan pengaruh pada deformasi radial. Besar dari gaya perlawanan tersebut merupakan peran dari sifat kuat tarik spesimen karet yang besarnya ditunjukkan pada Gambar 2.11.

2.6.2 Faktor yang mempengaruhi deformasi torsional

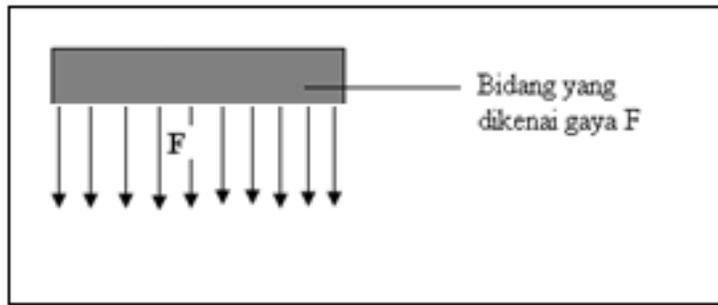


Gambar 2.17 Sampel *rubber bushing* dengan gaya torsional.

Prinsip superposisi berlaku bila besaran yang dicari merupakan fungsi linier dari beban yang bekerja. Apabila demikian, besaran yang dicari dapat diperoleh sebagai akibat dari masing-masing beban yang bekerja secara terpisah, dan hasilnya dapat disuperposisikan untuk mendapatkan besaran yang dicari akibat

semua beban yang bekerja secara simultan. Dalam struktur biasa, prinsip ini berlaku untuk tegangan, regangan, dan moment lentur (James M. Gere, 2000).

Dengan asumsi bahwa tiap satuan luas spesimen karet yang rekat dengan kern axle memberikan gaya perlawanan yang sama besar maka besar deformasi torsional berbanding lurus dengan luasan spesimen yang merekat pada kern axle karena berlaku prinsip superposisi dimana deformasi yang terjadi besarnya diperoleh sebagai akibat dari masing-masing beban yang bekerja secara terpisah dan secara simultan.



Gambar 2.18. Gaya bekerja pada bidang secara simultan.

Gambar 2.18 di atas memperlihatkan bahwa gaya yang bekerja pada *rubber bushing* merupakan penjumlahan dari seluruh gaya yang bekerja pada bidang yang dikenai gaya tersebut secara simultan. Apabila luas permukaan semakin besar dan gaya total yang bekerja pada *rubber bushing* tetap maka tiap gaya F yang bekerja pada tiap satuan luas permukaan pada gambar di atas akan semakin kecil dan deformasi juga semakin kecil sehingga dari persamaan (1) dan (6) terdapat hubungan antara luasan penampang A dengan deformasi karet (ϵ) yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{1}{A} \approx \epsilon \dots\dots\dots(9)$$

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Obyek Penelitian

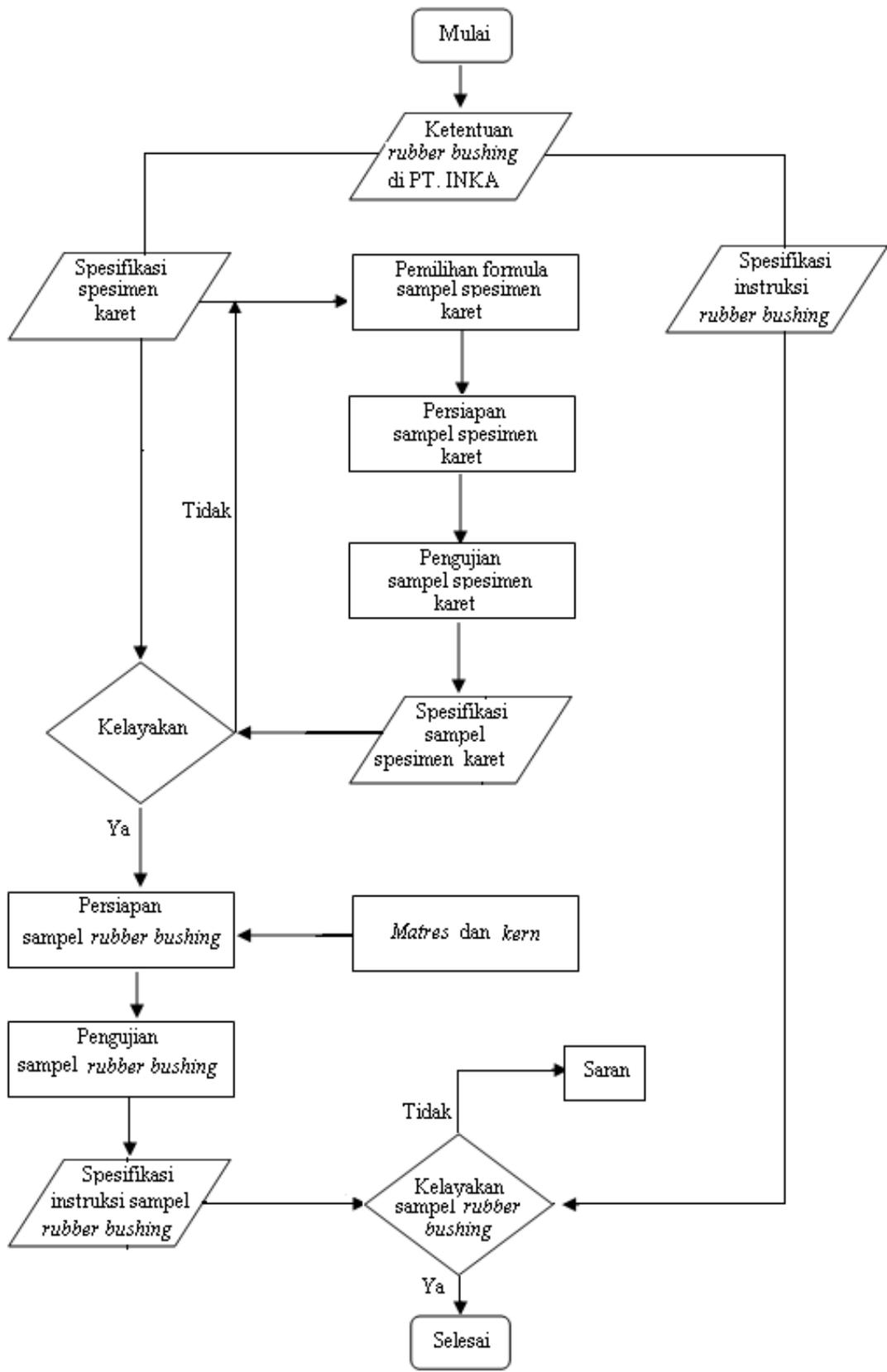
Obyek penelitian yang diambil dalam penelitian ini adalah menentukan komposisi spesimen karet, menentukan desain *rubber bushing*, memproduksi *rubber bushing*, mengetahui spesifikasi sampel spesimen karet, dan mengetahui spesifikasi instruksi sampel *rubber bushing*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.

Penelitian ini dilakukan pada 24 November 2008 sampai dengan 9 juni 2009. Adapun tempat dari penelitian ini adalah di PT. Industri Kereta Api (PT. INKA) tepatnya pada bagian unit kerja teknologi-PBTDD dalam pengumpulan data spesifikasi *rubber bushing* pada *bogie* poros tunggal di *rail bus*, dan pengujian deformasi torsional sampel *rubber bushing*. Tempat pembuatan sampel spesimen karet dan sampel *rubber bushing* adalah di PT. Karet Ngagel di Surabaya. Pengujian kekerasan, kuat tarik, perpanjangan tetap, dan pampatan tetap dilakukan di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik Jl. Sukonandi Jogyakarta. Pengujian pampatan (*compression*) sebesar 6000 Kgf pada sampel spesimen karet dilakukan di laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Mesin Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya. Pengujian deformasi *radial* pada sampel *rubber bushing* dilakukan di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.3 Skema Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini diperlihatkan pada skema metode penelitian seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema metode penelitian

3.4 Persiapan Sampel *Rubber Bushing*

3.4.1 Sampel spesimen karet

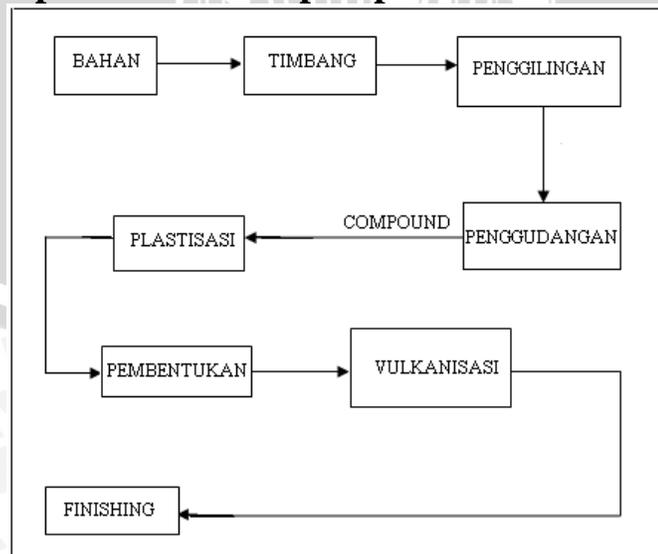
3.4.1.1 Pemilihan formula

Sampel spesimen karet disebut juga dengan nama vulkanisat. Dalam pembuatan sampel spesimen karet, pertama kali yang perlu dilakukan adalah pemilihan *formula* (resep). Adapun *formula* atau komponen-komponen yang dipakai sebagai sampel spesimen karet pada penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Komponen-komponen pada sampel spesimen karet.

Komponen campuran	phr	fungsi
RSS 1	100	Elastomer
Zinc oxide	5	Activator
Stearic acid	1,5	Activator
Santoflex	2	Antioxidant, antiozonant, dan inhibitor
Minarex B	18	Chemical plastiziser dan softener
ISAF	50	Filler
Santocure. NS	0,6	Accelerator
Sulfur	2,5	Agen vulkanisasi

3.4.1.2 Proses pembuatan sampel spesimen karet



Gambar 3.2. Skema proses pembuatan sampel spesimen karet.

Setelah pemilihan *formula*, langkah selanjutnya adalah pembuatan sampel spesimen karet dari *formula* yang telah ditentukan sebelumnya. Sampel Spesimen karet dipersiapkan untuk pengujian, sehingga bentuk spesimen disesuaikan dengan jenis pengujianya. Adapun proses pembuatan sampel spesimen karet dapat diperlihatkan pada Gambar 3.2.

a. Pencampuran.

Proses pencampuran ini dilakukan setelah bahan yang dibutuhkan dalam *formula* ditimbang sesuai dengan ukuran dan dilakukan penggilingan untuk meratakan sebaran dari tiap komponen sehingga menjadi campuran yang homogen.

b. Penggudangan.

Hasil dari pencampuran tersebut menghasilkan campuran karet setengah jadi (*compound*) yang digudangkan dan dipersiapkan untuk proses selanjutnya.

c. Pelunakan (*plastisasi*).

Setelah campuran digudangkan kemudian dilakukan *plastisasi* atau pelunakan dengan menggunakan *plastisizer* atau *softener* dengan tujuan untuk mempermudah pembentukan dan membantu mendispersi komponen-komponen yang ada pada campuran.

d. Pencetakan dan pemadatan.

Pada proses pencetakan ini dilakukan untuk membentuk campuran menjadi bentuk yang diinginkan dalam pengujian vulkanisat, dilakukan penekanan pada campuran untuk menambah kepadatan campuran dengan tujuan tidak terjadi penyusutan yang terlalu besar pada hasil akhir vulkanisat.

e. Pemasakan(vulkanisasi).

Proses vulkanisasi atau pemasakan adalah bertujuan untuk membentuk ikatan *krosslink* pada vulkanisat sehingga memberikan sifat fisis yang maksimal.

3.4.2 Pembuatan sampel *rubber bushing*.

3.4.2.1 Alat dan bahan.

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan sampel *rubber bushing* adalah sebagai berikut:

a. *Matres*

Matres adalah cetakan yang digunakan untuk membentuk spesimen *rubber*. Bentuk dari *matres* disesuaikan

dengan bentuk dan dimensi dari *rubber bushing*, bentuk *matres* diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3a. Bagian-bagian *Matres*



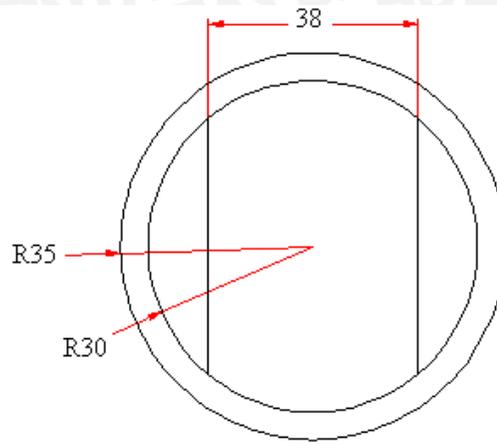
Gambar 3.3a. Pemasangan *Matres*

- b. Pembersih permukaan logam.

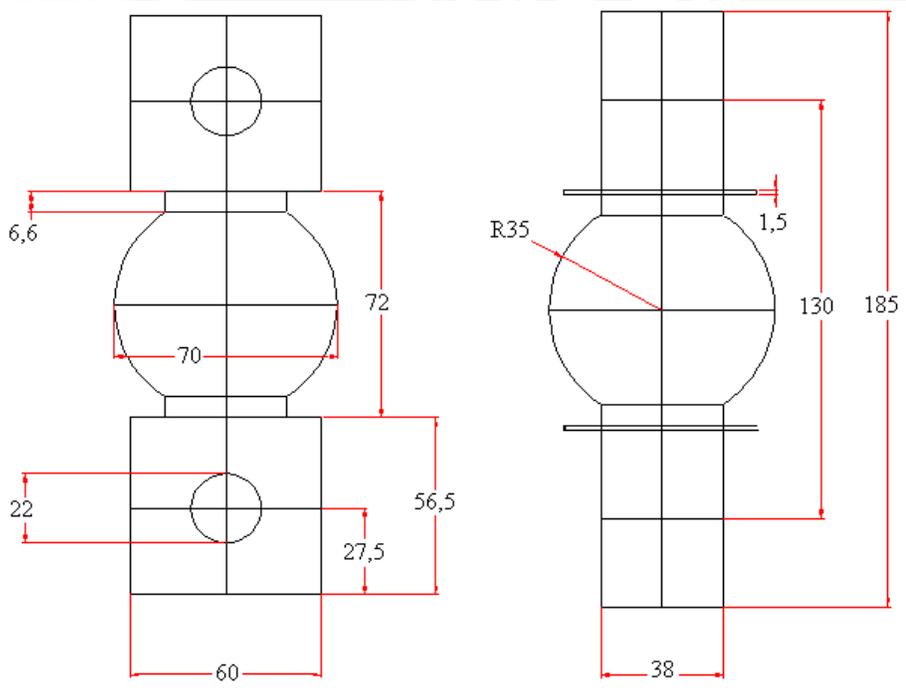
Pembersih permukaan logam yang digunakan adalah *sandpaper*, dan lap kering.

- c. *Kern*

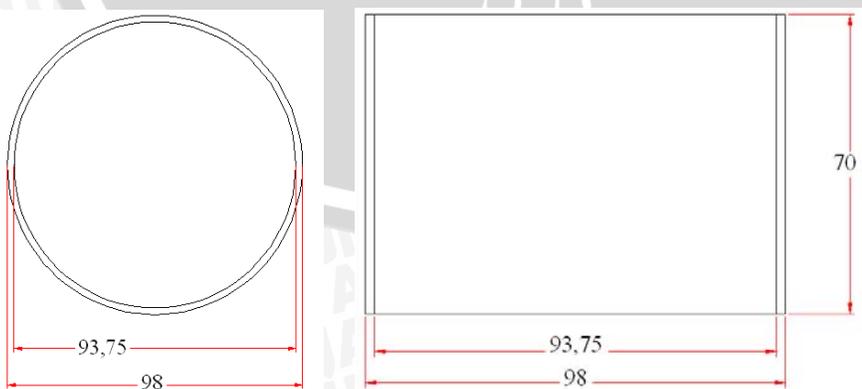
Material dari *kern* yang digunakan adalah baja jenis ST 60. Material yang setara dengan ST 60 (DIN) adalah S45C (JIS) dan AISI 1045. Dimensi *kern* terlihat pada Gambar 3.4 dan terdapat 2 bagian yaitu *kern axle* dan *kern* bagian terluar.



Gambar 3.4a. *Kern axle* terlihat dari atas atau bawah



Gambar 3.4b. *Kern axle* terlihat dari depan dan samping.



Gambar 3.4c. *Kern bagian terluar* terlihat dari atas atau bawah dan samping.

d. Campuran karet (*compound*)

Compound yang digunakan adalah *compound* yang sama dengan sampel spesimen karet dari formula yang telah dipilih sebelumnya dan telah dilakukan pengujian atau telah diketahui spesifikasinya.

e. Perekat logam dengan karet.

Ada 2 jenis perekat yang digunakan yaitu perekat primer dan sekunder. Perekat yang digunakan adalah perekat primer *chemlok 205* dan perekat sekunder *chemlok 220*.

3.4.2.2 Proses pembuatan sampel *rubber bushing*

Hal yang perlu dipersiapkan dalam pembuatan sampel *rubber bushing* adalah *compound*, *kern* dan *matres*. Tahapan proses pembuatan sampel *rubber bushing* adalah sama dengan proses pembuatan sampel spesimen, akan tetapi berbeda pada tahap pencetakan. Tahap pencetakan pada produksinya adalah sebagai berikut:

- Permukaan dalam pada *kern* (Gambar.3.3c) dan permukaan *kern* (Gambar.3.3a) dibersihkan dengan menggunakan *sandpaper* (kertas gosok) kemudian bekas debu dibersihkan dengan lap kering.
- Kern* dilapisi dengan perekat primer *chemlok 205*, kemudian setelah kering ± 15 menit dilapisi dengan perekat sekunder *chemlok 220*.
- Setelah dilapisi perekat sekunder, *compound* yang telah dilunakkan dimasukkan pada *kern* dengan segera agar perekat sekunder tidak menyerap air dari udara karena sifat hidroskopisnya yang tinggi.
- Kern* yang telah dilapisi dengan *compound* tersebut dimasukkan pada *matres* atau *cetakan*, kemudian dipadatkan dan dilakukan proses *vulkanisasi* dengan suhu 154°C dengan waktu sekitar 31,6 menit. Setelah itu barang dikeluarkan dari *matres*.

Waktu dan suhu vulkanisasi di atas didapat dengan menggunakan metode penghitungan berlanjut. Perhitungan penambahan waktu vulkanisasi *rubber bushing* adalah sebagai berikut:

Diketahui;

t_{90} = waktu dimana sifat mekanik dari campuran pada

kondisi terbaik atau biasa dikatakan matang pada ketebalan 2 mm dan pada suhu vulkanisasi 144°C

$$\text{Penambahan tebal} = 72 - 2 \text{ mm} = 70 \text{ mm} = 2,8 \text{ inch}$$

$$t_{90} = 25 \text{ menit}$$

$$T_1 = 144^{\circ}\text{C}$$

Sehingga waktu vulkanisasi yang dibutuhkan untuk *rubber bushing* dengan tebal spesimen 72 mm adalah seperti berikut:

$$t_1 = t_{90} + \left(\frac{2,8}{1,25} \times 10 \text{ menit}\right)$$

$$= 25 + 22,4 \text{ menit}$$

$$= 47,4 \text{ menit}$$

dimana t_1 adalah waktu yang dibutuhkan dalam proses vulkanisasi *rubber bushing* dengan suhu (T_1) 144°C .

Untuk mempercepat waktu vulkanisasi dapat dilakukan dengan meningkatkan suhu menjadi 154°C ; yaitu sebagai berikut:

Diketahui;

$$T_1 = 144^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 154^{\circ}\text{C}$$

$$t_1 = 47,5 \text{ menit}$$

Sehingga waktu vulkanisasi yang dibutuhkan pada suhu 154°C dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (5) sebagai berikut:

$$t_2 = \frac{t_1}{1,5 \left(\frac{T_2 - T_1}{10}\right)}$$

$$t_2 = \frac{47,4}{1,5 \left(\frac{154 - 144}{10}\right)} \text{ menit}$$

$$t_2 = \frac{47,4}{1,5} = 31,6 \text{ menit}$$

3.5 Pengambilan Data

Data dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Semua data yang digunakan merupakan data primer kecuali data spesifikasi *rubber bushing* di PT. INKA dan syarat kelayakannya adalah merupakan data sekunder.

3.5.1 Data spesifikasi *rubber bushing* di PT. INKA

Spesifikasi *rubber bushing* yaitu meliputi spesifikasi dari spesimen karet dan spesifikasi instruksi *rubber bushing*. Spesifikasi spesimen karet meliputi kekerasan, deformasi pada pampatan 6000Kgf, perpanjangan tetap, dan pampatan tetap. Sedangkan spesifikasi instruksi *rubber bushing* meliputi deformasi *radial* dan deformasi *torsional*. Data spesifikasi ini diperoleh dari data yang ada di PT. Industri Kereta Api (PT. INKA) tepatnya pada bagian unit kerja teknologi-PBTDD.

3.5.2 Data spesifikasi sampel *rubber bushing*

3.5.2.1 Pengujian sampel spesimen karet

Pada penelitian ini digunakan standart pengujian JIS K 6301. untuk pengujian kekerasan, kuat tarik, perpanjangan tetap, pampatan dan pampatan tetap. Adapun jenis pengujiannya adalah seperti berikut:

a. Pengujian kekerasan

Untuk pengujian kekerasan digunakan alat shore A Durometer seperti pada Gambar 3.5. Pengujian ini memerlukan sampel dengan syarat sebagai berikut:

- Ketebalan sampel tidak boleh kurang dari 6,3 mm.
- Lebar sampel tidak boleh kurang dari 2,54 cm.
- Pengujian tidak boleh dilakukan pada daerah yang kurang dari 12,7 mm dari tepi permukaan sampel dan luas permukaan tidak boleh kurang dari luas permukaan kaki penekan.
- Permukaan sampel harus rata karena kaki penekan alat harus sejajar dengan permukaan sampel.

Tahapan dari pengujian yang pertama adalah sampel diletakkan di atas dasar yang keras dan datar, kemudian alat ditekankan pada permukaan sampel sampai kaki penekan alat menyentuh dan sejajar dengan permukaan sampel, kemudian dilakukan pembacaan skala. Pengujian dilakukan 3 kali pada tempat yang berlainan dan tidak terlalu dekat. Hasil pengujian adalah rata-rata dari tiga kali pengukuran tersebut dan dinyatakan dengan satuan shore A.



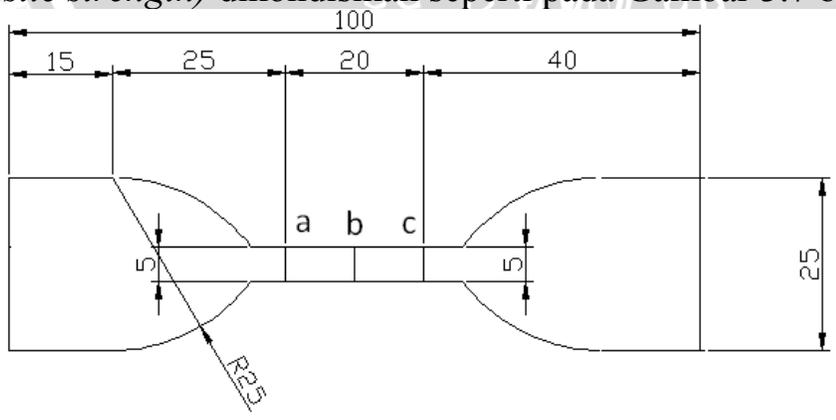
Gambar 3.5. Shore A Durometer



Gambar 3.6 Sampel spesimen karet untuk pengujian kekerasan

b. Pengujian kuat tarik.

Sampel yang digunakan pada pengujian kuat tarik (*tensile strength*) dikondisikan seperti pada Gambar 3.7 berikut:



Gambar 3.7 Sampel spesimen untuk pengujian kuat tarik

Sampel diberi tanda dengan dua garis sejajar dengan jarak 20 mm simetris ditengah-tengah sampel. Lebar dan tebal sampel di tempat a, b, c diukur dan kemudian diletakkan pada alat sehingga jarak antara kedua jepitan 50 mm. Penarikan dilakukan dengan kecepatan 500 ± 25 mm/menit sampai sampel putus. Persamaan kuat tarik atau *tensile strength* adalah sebagai berikut:

$$\text{Kuat tarik} = \frac{F}{t \times w} \times N/mm^2$$

Dimana;

- F adalah beban yang diperlukan untuk menarik sampel sampai putus, N.
- t adalah tebal sampel, mm.
- w adalah lebar sampel, mm.

c. Pengujian perpanjangan tetap.

Pengujian perpanjangan tetap sama seperti pengujian kuat tarik. Perpanjangan tetap (*elongation at break*) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Perpanjangan (elongation), percent} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

dimana L adalah panjang akhir *spesimen* setelah diberi tekanan (*stress*) sampai pada titik putus dan L_0 adalah panjang mula-mula dan perpanjangan putusnya (EB) dinyatakan dengan persentase (%).

d. Pengujian pampatan tetap.

Pengujian dilakukan dengan sampel spesimen dan alat uji pampatan tetap seperti pada Gambar (3.8) dan Gambar 3.9 berikut:



Gambar 3.8 Sampel spesimen untuk pengujian pampatan tetap



Gambar 3.9. Alat uji pampatan tetap

Potongan sampel berbentuk silinder dengan diameter $29,0 \pm 0,5$ mm dan tebal $13,0 \pm 0,5$ mm. Langkah pengujian adalah sebagai berikut:

- Dilakukan pengukuran tebal sampel pada kondisi awal dan dicatat sebagai t_0 .
 - Sampel dimasukkan alat dan dipampat dengan besar sesuai dengan nilai *hardness* dan tebal diukur sebagai t_1 .
 - Alat uji tersebut dimasukkan pada oven dengan suhu $70 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 22 jam.
 - Alat dikeluarkan dari oven, sampel dikeluarkan, dan sampel didiamkan pada suhu kamar selama 30 menit.
 - Dilakukan pengukuran tebal sampel pada kondisi akhir dan dinyatakan sebagai t_2 .
 - Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali
- Hasil pengujian *compression set* (pampatan tetap) dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\text{Pampatan tetap} = \frac{t_0 - t_2}{t_0 - t_1} \times 100\%$$

Keterangan;

Kekerasan shore A	% pampatan
40 – 55	40
56 – 70	30
70 ke atas	20

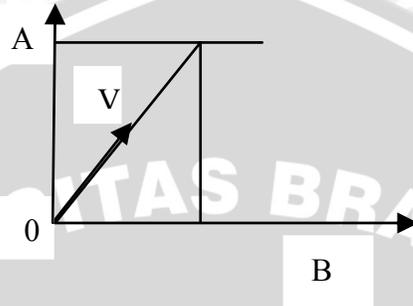
e. Pengujian pampatan.

Pengujian pampatan ini dilakukan dengan memberi beban sebesar 6000 Kgf pada sampel spesimen karet berukuran

(Panjang = $200,0 \pm 0,5$ mm; Lebar = $200,0 \pm 0,5$ mm; Tebal = $20,0 \pm 0,5$ mm) dan dicatat besar defleksi yang terjadi.

3.5.2.2 Pengujian sampel *rubber bushing*.

Pengujian ini merupakan pengujian instruksi. Pengujian instruksi ini dilakukan dengan memberikan gaya pada sampel *rubber bushing* minimal sebanyak 4 kali pada tiap pengujian dan diplot menjadi garis tangensial seperti pada Gambar 3.10 berikut:



Gambar 3.10. Grafik pengujian *instruksi*

Dimana A adalah besar gaya yang bekerja pada *rubber bushing*, dan B adalah deformasi yang terjadi. Ada 2 pengujian yaitu deformasi torsional dan radial. Jenis pengujian ini dibedakan dengan adanya perbedaan gaya yang bekerja pada sampel.

Pengujian deformasi torsional disebut juga pengujian puntir dimana sampel *rubber bushing* dikenai gaya yang mengakibatkan terjadinya deformasi torsional pada sampel seperti pada Gambar 3.11 berikut:



Gambar 3.11 Uji deformasi torsional.

Pengujian deformasi radial adalah pengujian untuk mengetahui deformasi atau perubahan *rubber bushing* setelah dikenai gaya menuju poros atau searah radiusnya seperti terlihat pada Gambar 3.12 berikut:



Gambar 3.12a Pengujian deformasi radial



Gambar 3.12b Skala gaya pengujian deformasi radial

3.6 Analisa Kelayakan Sampel Spesimen Karet

Analisa kelayakan ini dilakukan dengan membandingkan spesifikasi sampel spesimen karet dengan spesimen karet di PT. INKA. Sampel spesimen karet dianggap layak untuk dipakai dalam pembuatan *rubber bushing* apabila spesifikasinya sama atau mendekati dengan spesifikasi spesimen karet di PT. INKA.

3.7 Analisa Kelayakan Sampel *Rubber Bushing*

Analisa ini dilakukan dengan membandingkan spesifikasi instruksi sampel *rubber bushing* dengan syarat kelayakannya. Sampel *rubber bushing* dianggap layak apabila spesifikasi instruksinya yang meliputi sifat deformasi torsional dan deformasi radialnya sesuai dengan syarat kelayakan.

BAB IV DATA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil

4.1.1 Spesifikasi *rubber bushing* di PT. INKA

Spesifikasi spesimen karet diperlihatkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Spesifikasi spesimen karet.

Standart karet		JRS 17436	
Kualitas karet		Kelas 1	
No	Macam uji	Hasil uji	Metode Uji
1.	Kekerasan, Shore A	60	JIS
2.	Pampatan tetap (25%),%	25	
3.	Perpanjangan tetap, %	Minimal 400	
4.	Pampatan, 6000 Kgf, mm	$1,7 \pm 0,25$	

4.1.2 Formula campuran karet.

Formula campuran karet yang digunakan pada penelitian ini adalah diperlihatkan pada Tabel 4.2 berikut:

Table 4.2. Komponen-komponen dalam campuran.

Komponen	phr	fungsi
RSS 1	100	Elastomer
Zinc oxide	5	Activator
Stearic acid	1,5	Activator
Santoflex	2	Antioxidant, antiozonant, dan inhibitor
Minarex B	18	Chemical plastiziser dan softener
ISAF	50	Filler
Santocure. NS	0,6	Accelerator
Sulfur	2,5	Agen vulkanisasi

4.1.3 Sistem vulkanisasi

Sistem vulkanisasi yang digunakan adalah sistem konvensional dengan pemanasan $\pm 154^{\circ}\text{C}$ selama $\pm 31,6$ menit. Nilai t_{90} dari formula campuran sampel spesimen karet adalah 25 menit pada suhu 144°C dengan tebal 2 mm.

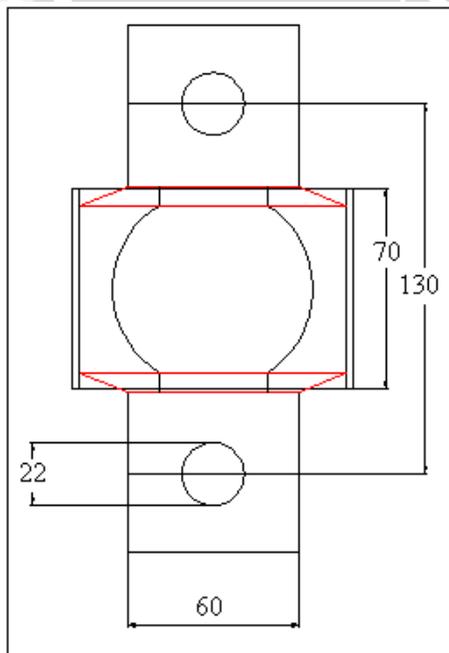
4.1.4 Spesifikasi sampel *rubber bushing*.

Spesifikasi sampel *rubber bushing* meliputi spesifikasi sampel spesimen karet yang diperlihatkan pada Tabel 4.3, dimensi sampel *rubber bushing* seperti pada Gambar 4.1, dan spesifikasi instruksi.

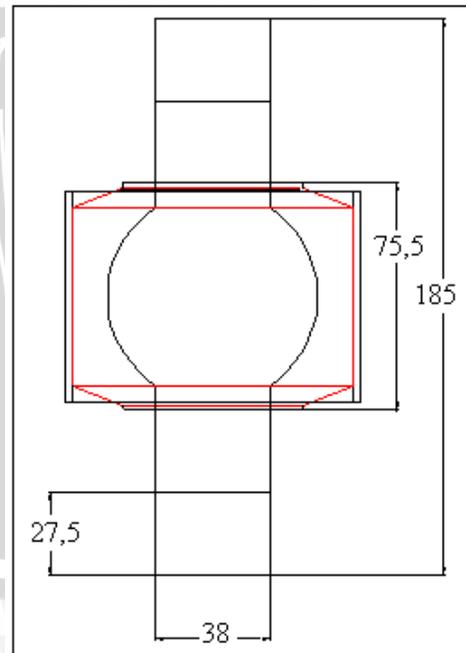
Table 4.3. Spesifikasi sampel spesimen karet.

No	Macam uji	Hasil uji	Metode Uji
1.	Kekerasan, Shore A	57,40	JIS K 6301
2.	Pampatan tetap (30%;22 jam; 70°C), %	25,83	
3.	Kuat tarik, kg/cm^2 *	250,50	
4.	Perpanjangan tetap, %	616,67	
5.	Pampatan, 6000 Kgf, mm	1,86	

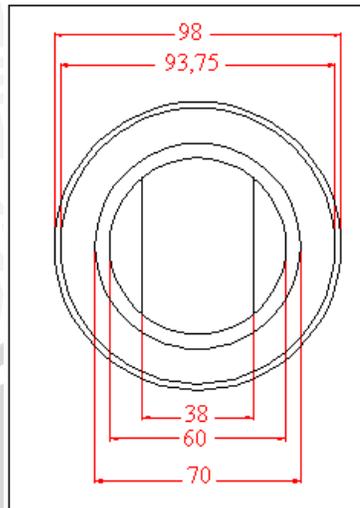
Keterangan: * (kg/cm^2 maksudnya di sini adalah kgf/cm^2 dimana $1 \text{ kgf}/\text{cm}^2 = 0,0981 \text{ N}/\text{mm}^2$)



Gambar 4.1a. Sampel *rubber bushing* terlihat dari dari depan.



Gambar 4.1b. Sampel *rubber bushing* terlihat samping.



Gambar 4.1c. Sampel *rubber bushing* terlihat dari atas atau bawah

Spesifikasi *instruksi* sampel *rubber bushing* adalah seperti berikut:

a. Deformasi radial

Tabel 4.4 Data deformasi radial

No	Pembebanan (KN)	Deformasi (mm)		
		Sampel I ($\pm 0,05\text{mm}$)	Sampel II ($\pm 0,05\text{mm}$)	Rata-rata ($\pm 0,05\text{mm}$)
1	0	0,00	0,00	0,00
2	10	2,80	4,20	3,50
3	20	5,00	5,10	5,50
4	30	7,60	6,70	7,15
5	40	9,00	7,80	8,40
6	50	9,60	8,60	9,10

b. Deformasi torsional

Tabel 4.5 Data deformasi torsional

No	Gaya torsioanal (Nm)	Deformasi ($^{\circ}$)		
		Sampel I ($\pm 0,25^{\circ}$)	Sampel II ($\pm 0,25^{\circ}$)	Rata-rata ($\pm 0,003^{\circ}$)
1	0	0,0	0,0	0,00
2	150	5,0	5,5	5,25
3	250	8,0	11,0	9,50
4	350	12,5	15,0	13,75
5	450	16,5	19,5	18,00

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pemilihan formula

Pada pemilihan *formula* ini perlu mempertimbangkan beberapa faktor yaitu sifat produk akhir yang diinginkan dan sifat tiap komponen pada campuran. Sifat produk akhir yang diinginkan adalah memiliki spesifikasi yang sesuai dengan ketentuan spesifikasi spesimen karet pada *rubber bushing* di PT. INKA yang meliputi kekerasan, pampatan, pampatan tetap, kuat tarik, dan perpanjangan tetap.

Perkiraan nilai kekerasan spesimen karet dari *formula* yang dipakai dalam penelitian ini dipengaruhi oleh komponen-komponen yang ada dalam campuran. Perkiraan kekerasan diperlihatkan pada pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Perkiraan kekerasan

Komponen	phr	Perkiraan kekerasan(Shore A)
RSS 1	100	+40
Zinc oxide	5	-
Stearic acid	1,5	-
Santoflex	2	-
Minarex B	18	-9
ISAF	50	+25 (+2)
Santocure. NS	0,6	+1
Sulfur	2,5	+1
Total kekerasan		60 ± 5

Adapun pertimbangan akan pemilihan komponen-komponen di atas adalah sebagai berikut:

a. RSS 1 (*Rabbed Smoked Sheet 1*)

Material ini merupakan karet alam (*NR*) dan berperan sebagai elastomer. Pemilihan RSS 1 sebagai elastomer adalah karena Indonesia merupakan Negara yang sangat kaya akan karet alam sehingga material ini sangat mudah didapatkan. Karet alam ini memiliki sifat yang relatif paling baik diantara elastomer

yang lain pada kuat tarik dengan filler penguat maupun tanpa filler, memiliki pampatan tetap yang baik, ketahanan terhadap oksidasi yang baik, dan sifat fisis yang lain seperti pada Tabel 2.3.

b. ISAF

Produk akhir yang diinginkan adalah memiliki nilai kekerasan yang relatif tinggi yaitu 60 shore A namun juga memiliki nilai perpanjangan tetap yang besar yaitu minimal 400% sehingga digunakan *filler* aktif. *Filler* berfungsi untuk meningkatkan nilai kekerasan, meningkatkan densitas, dan meningkatkan sifat fisis yang lainnya. Setiap penambahan *filler* pada karet alam terjadi penurunan pada kuat tarik dan juga perpanjangan tetapnya, namun penurunan sifat ini dapat diminimalisir dengan menambahkan jenis *filler* penguat atau aktif. ISAF (*Intermediate Super Abrasion Furnace*) adalah merupakan jenis dari *carbon black* yang berfungsi sebagai *filler* aktif yang dapat memperkuat hasil dari produk akhir, meningkatkan nilai kekerasan, dan tidak terlalu banyak mengurangi kuat tarik dan perpanjangan tetap. Partikel dari *carbon black* ISAF berukuran 23 nm dan luas area $100\text{m}^2/\text{g}$. Karet alam dengan proses vulkanisasi tanpa *filler carbon black* memiliki kuat tarik sekitar 450 kg/cm^2 (6500 Psi) pada perpanjangan (elongation) sekitar 700%, dengan adanya penambahan *carbon black* 50 phr terjadi penurunan nilai perpanjangan tetapnya antara 10-15%, penurunan tersebut dapat dikatakan relatif kecil dan masih berada pada daerah toleransi setelah menjadi produk akhir vulkanisat atau sampel spesimen *rubber*. Dengan penambahan *carbon black* ISAF mampu memberikan penambahan pada kekerasan yang ditunjukkan pada Tabel 2.9.

Penguatan oleh *carbon black* terjadi karena adanya energi adsorpsi *carbon black* sehingga mampu melekat pada karet alam. Dengan ukuran partikel ISAF 23 nm dan luas area $100\text{m}^2/\text{g}$ akan dapat mengikat kuat *carbon black* dengan karet alam sehingga kuat tarik dan perpanjangan tetap dari vulkanisat mengalami penurunan yang tidak terlalu besar. *Carbon black* mengisi kekosongan ruang pada karet alam sehingga mampu meningkatkan densitas, dan kekerasan.

c. *Zinc oxide* dan *stearic acid*

Zinc oxide merupakan senyawa anorganik dan *stearic acid* adalah senyawa organik. *Stearic acid* digunakan dalam kombinasi dengan *zinc oxide* dan berfungsi sebagai *activator* yaitu untuk mengaktifkan *accelerator* agar bekerja secara efektif.

d. *Santoflex*

Santoflex berfungsi sebagai *antioxidant*, *antiozonant*, dan *inhibitor*. *Santoflex* diperlukan dalam campuran karena produk *rubber bushing* yang diinginkan mampu bertahan dalam kontak dengan lingkungan, jumlah *santoflex* pada campuran dengan karet alam berkisar 1-3 phr. Dengan adanya *santoflex* diharapkan mampu menghasilkan produk yang tahan terhadap interaksi dengan lingkungan seperti terjadinya oksidasi, interaksi dengan panas dan kerusakan akibat reaksi dengan ozon.

e. *Minarex B*

Minarex B berfungsi sebagai *plasticizer* dan *softener* yaitu untuk membantu penguraian awal selama pencampuran dengan tujuan melunakkan material dalam proses atau memudahkan dalam pembentukan, mengontrol jumlah dan kecepatan penguraian dan membantu dalam mendispersi komponen-komponen dalam campuran, dan juga berfungsi mengurangi penyusutan selama proses produksi.

f. *Santocure NS*

Santocure NS dikelompokkan sebagai *accelerator* yaitu berfungsi untuk membantu dalam mengontrol waktu dan temperatur yang dibutuhkan dalam proses vulkanisasi dengan tujuan meningkatkan sifat dari vulkanisat. *Santocure NS* digunakan dalam sistem vulkanisasi konvensional dengan sulfur dalam persentase *Santocure NS* 0,6 phr dan sulfur 2,5 phr. *Accelerator* ini juga mampu membantu mendispersi komponen dalam campuran selama proses vulkanisasi.

g. *Sulfur*

Sulfur digunakan sebagai agen vulkanisasi untuk membentuk ikatan *crosslink* dari rantai karet sehingga terjadi hubungan tiga dimensi pada ikatannya dengan tujuan mampu menghasilkan sifat fisis yang maksimal. *Sulfur* dapat digunakan sebagai agen vulkanisasi pada jenis karet alam namun tidak bisa sebagai agen vulkanisasi pada jenis karet *hypalon*, *neoprene*, dan *fluoroprene*.

h. Pemilihan Sistem Vulkanisasi.

Sistem vulkanisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem konvensional. Pada sistem konvensional terbentuk *krosslink polysulfid* yang dominan sehingga hasil akhir vulkanisat memiliki ketahanan leleh yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem vulkanisasi yang lain namun ketahanan terhadap suhu dan zat kimia lebih rendah karena ikatan *krosslink monosulfid* tidak terbentuk dan ikatan *krosslink disulfid* terbentuk dalam jumlah yang kecil.

Pemilihan sistem vulkanisasi konvensional ini adalah dengan pertimbangan bahwa sistem ini memberikan hasil vulkanisat yang memiliki ketahanan leleh yang terbaik di antara sistem yang lain, sifat ketahanan leleh yang baik ini diperlukan karena pada penggunaannya bekerja gaya dinamik. Disamping itu sistem ini juga mendukung sifat mekanik yang lainnya seperti perpanjangan tetap dan pampatan tetap. Sifat ketahanan terhadap panas, lingkungan, zat kimia, dan ozon yang kurang baik dapat diabaikan karena permukaan karet yang mengalami persentuhan dengan udara sangat kecil, dan dengan adanya penambahan antioksidan dan antiozonant.

4.2.2 Analisa kelayakan sampel spesimen karet.

Perbandingan sampel spesimen karet dengan spesimen karet yang ada di PT. INKA yang meliputi sifat kekerasan, perpanjangan tetap, dan pampatan tetap adalah sebagai berikut:

a. Kekerasan

Kekerasan sampel spesimen karet adalah 57,40 Shore A, nilai tersebut sesuai dengan perkiraan dalam *formula* yaitu 60 ± 5 shore A. Sedangkan spesimen karet di PT. INKA adalah 60 shore A. Toleransi penyimpangan sebesar 5 shore A adalah merupakan ketentuan dari industri perkaretan internasional dimana dalam produksi suatu produk karet tidak akan selalu sama nilai kekerasannya walaupun dengan formula yang sama, hal tersebut dipengaruhi beberapa faktor seperti penimbangan komponen yang sedikit menyimpang, kesalahan manusia, proses pencampuran, proses vulkanisasi, dan factor-faktor yang lainnya.

b. Perpanjangan tetap

Perpanjangan tetap sampel spesimen karet adalah 616,67%, nilai ini sangat baik dan masuk dalam daerah toleransi dimana perpanjangan tetap minimal spesimen karet pada

ketentuan di PT. INKA adalah 400%. Nilai perpanjangan tetap tersebut tidak menyimpang dari perkiraan awal pada pemilihan *formula* dimana dengan adanya penambahan *filler* ISAF sebanyak 50 phr diperkirakan mengalami penurunan perpanjangan tetap berkisar 10-15% dari vulkanisat karet alam tanpa penambahan *filler* (700%).

c. Pampatan tetap

Nilai pampatan tetap sampel spesimen adalah 25,83% dengan pemampatan 30% pada suhu 70°C selama 22 jam. Pengujian tersebut menggunakan standart pengujian JIS K 6301. Nilai tersebut berbeda dengan nilai pampatan tetap spesimen karet di PT. INKA yaitu maksimal 25% dengan pemampatan 25%, perbedaan nilai tersebut disebabkan karena pada data yang terdapat di PT. INKA menggunakan pemampatan sebesar 25% dan tidak menerangkan kondisi pemampatannya seperti suhu, standart pengujian, dan waktu pampatannya. Nilai pampatan tetap sampel spesimen karet yang menyimpang sedikit dari nilai pampatan tetap spesimen karet di PT. INKA kemungkinan disebabkan karena perlakuan pengujian yang berbeda yaitu pemampatan pada sampel spesimen karet 30% sedangkan pada spesimen karet di PT. INKA adalah 25%, di samping itu kondisi suhu, standart pengujian, dan waktu pemampatan tidak disebutkan dalam data spesifikasi di PT. INKA. Dengan adanya keterangan yang kurang lengkap pada data spesifikasi spesimen karet di PT. INKA, penyimpangan tidak terlalu besar pada sampel spesimen karet, dan dengan perlakuan yang berbeda pada besar pemampatan, maka nilai pampatan tetap dari sampel spesimen karet dianggap dapat dipakai dalam pembuatan *rubber bushing*.

d. Deformasi pada pampatan 6000 Kgf

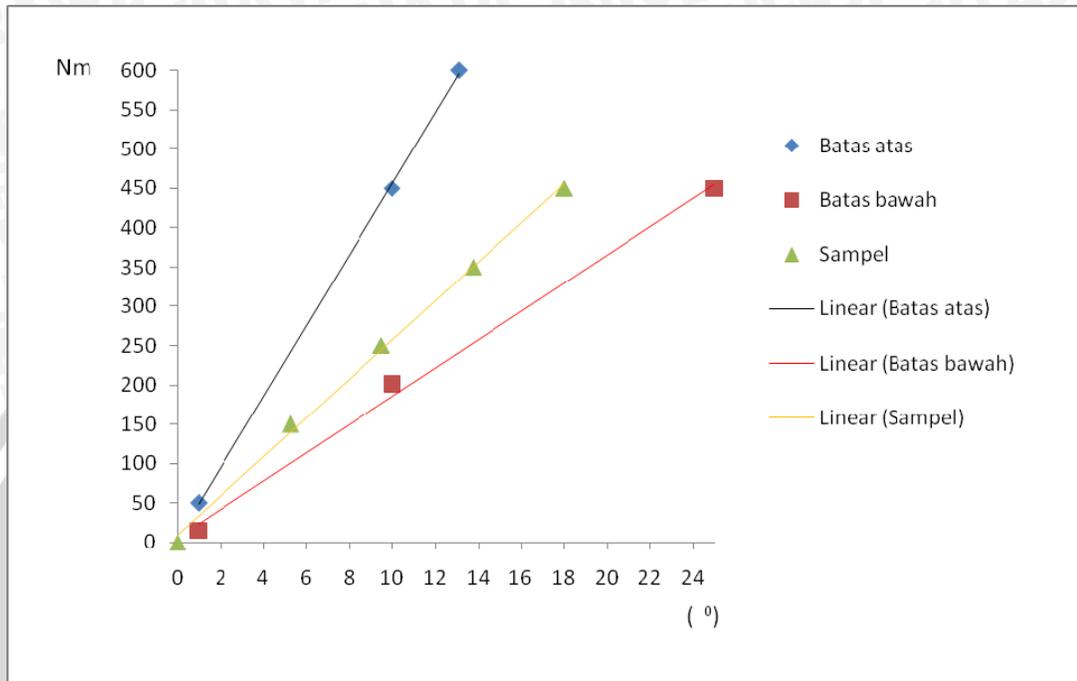
Pada sampel spesimen karet terjadi deformasi sebesar 1,86 mm, sedangkan pada spesimen karet di PT. INKA adalah $1,7 \pm 0,25$ mm. Dari hasil tersebut bisa diketahui bahwa sampel spesimen karet memiliki nilai deformasi yang sangat mendekati dengan spesimen karet di PT. INKA pada pembebanan 6000 Kgf.

Dari data spesifikasi sampel spesimen karet dapat dikatakan bahwa sampel spesimen tersebut sangat mendekati dengan spesimen karet di PT. INKA dan dianggap layak untuk dipakai dalam pembuatan *rubber bushing*.

4.2.3 Analisa kelayakan sampel *rubber bushing*

Perbandingan deformasi torsional dan radial dengan syarat kelayakan di PT. INKA adalah seperti berikut:

4.2.3.1 Deformasi torsional



Gambar 4.2 Grafik deformasi torsional.

Nilai kesalahan relatif (K_r) dari grafik hubungan antara gaya torsional dan deformasi sampel adalah 0,3%. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa grafik dari deformasi torsional sampel berada pada daerah toleransi, hal ini berarti sampel *rubber bushing* memiliki spesifikasi deformasi torsional yang masih diterima dalam pemakaiannya pada *traction rod bogie single axle rail bus*.

Besarnya nilai deformasi torsional dipengaruhi oleh beberapa faktor, faktor tersebut adalah:

a. Gaya yang bekerja

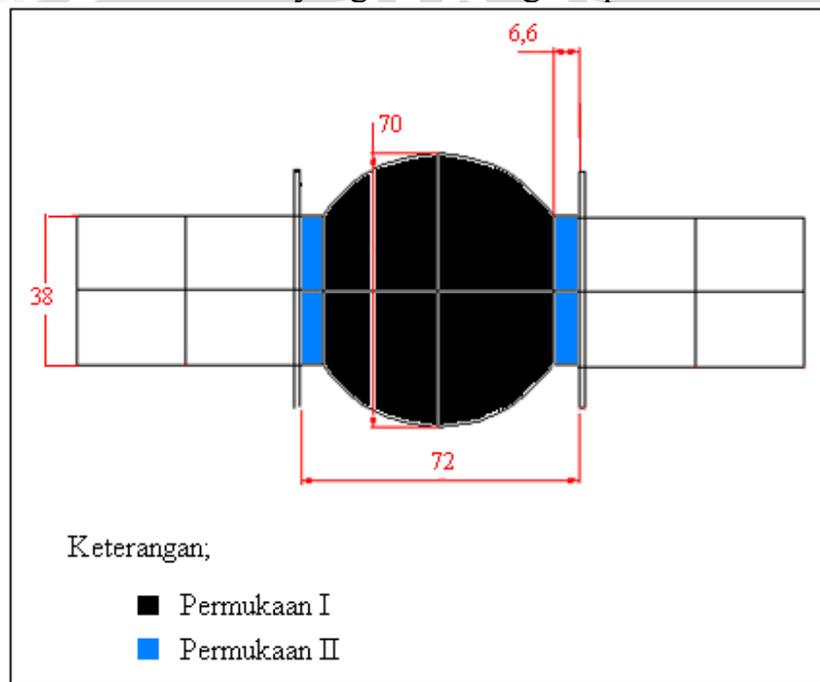
Besar gaya ini sangat mempengaruhi besarnya deformasi torsional dan semakin besar gaya maka semakin besar pula deformasi yang terjadi. Ketentuan besarnya gaya yang ditunjukkan pada syarat kelayakan deformasi torsional adalah didapat dari kajian tentang gaya yang bekerja pada *traction rod* akibat dari beban kereta, percepatan maksimum, dan variabel-variabel yang menentukan besar gaya yang bekerja pada *traction rod* dalam arah vertikal. Kajian ini dilakukan oleh PT. INKA

sehingga menghasilkan data syarat kelayakan untuk deformasi torsional.

b. Spesifikasi spesimen karet

Spesifikasi spesimen karet sangat menentukan besar deformasi torsional, Spesimen karet memberikan gaya perlawanan yang merupakan peran dari sifat kuat tariknya pada saat dikenai gaya torsional. Spesifikasi sampel spesimen karet diperlihatkan pada Tabel 4.3. Spesifikasi sampel spesimen karet sangat mendekati dan dikatakan sesuai dengan ketentuan spesifikasi spesimen karet di PT. INKA.

c. Luas permukaan kern axle yang rekat dengan spesimen karet.



Gambar 4.3. Permukaan kern axle yang rekat dengan spesimen karet.

Nilai luas permukaan tersebut adalah $46,176\pi \text{ cm}^2$ yang diketahui dari perhitungan dengan menggunakan persamaan luas permukaan yang diperoleh dari memutar kurva $y = f(x)$, $a \leq x \leq b$ terhadap sumbu x seperti terlihat pada Lampiran 11.

Dari prinsip superposisi dengan asumsi bahwa tiap satuan luas spesimen karet yang rekat dengan kern axle memberikan gaya perlawanan yang sama besar maka terdapat hubungan besar luas permukaan dan besar deformasi seperti pada persamaan (9)

Dari hubungan tersebut dapat diperkirakan bahwa batas luas yang masih diijinkan agar *rubber bushing* memiliki deformasi

torsional yang sesuai dengan syarat kelayakan adalah sebagai berikut:

Diketahui;

- Nilai deformasi torsional sampel rubber bushing (θ_1) adalah 18° pada pembebanan 450 Nm.
- Nilai batas bawah syarat kelayakan deformasi torsional (θ_{\max}) adalah 25° pada pembebanan 450 Nm.
- Nilai batas atas syarat kelayakan deformasi torsional (θ_{\min}) adalah 10° pada pembebanan 450 Nm.

Sehingga dapat diketahui perkiraan batas luas permukaan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{1/A_1}{1/A_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

$$A_2 = \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right) A_1$$

- Luas minimum

$$A_1 = 46,176\pi \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = \left(\frac{\theta}{\theta_{\max}} \right) A_1$$

$$A_{\min} = \left(\frac{18}{25} \right) 46,176\pi \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 33,246\pi \text{ cm}^2$$

- Luas maksimum

$$A_1 = 46,176\pi \text{ cm}^2$$

$$A_{\max} = \left(\frac{\theta}{\theta_{\min}} \right) A_1$$

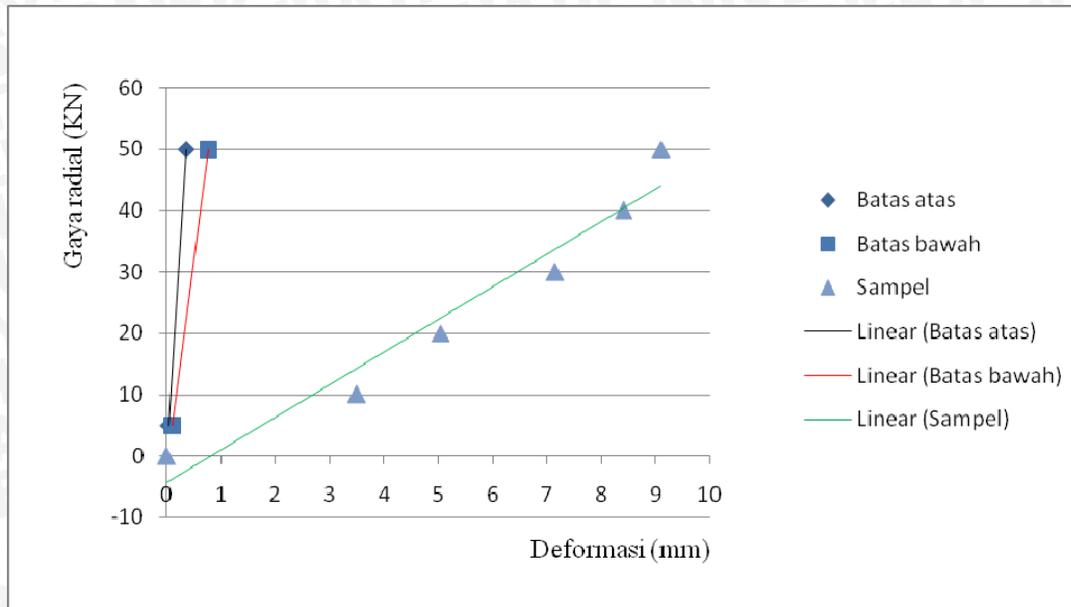
$$A_{\max} = \left(\frac{18}{10} \right) 46,176\pi \text{ cm}^2$$

$$A_{\max} = 83,116\pi \text{ cm}^2$$

Sehingga perkiraan luas permukaan yang diperkenankan adalah sekitar $(33,246\pi - 83,116\pi) \text{ cm}^2$.

4.2.3.2 Deformasi radial

Dari data deformasi radial pada Tabel 4.4 dapat dibandingkan dengan syarat kelayakannya seperti terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik deformasi radial

Nilai kesalahan relatif (K_r) dari grafik hubungan antara gaya radial dan deformasi sampel adalah 5,3%. Dari grafik di atas dapat dikatakan bahwa nilai deformasi radial sampel *rubber bushing* menyimpang sangat jauh dari spesifikasi syarat kelayakannya. Pada syarat kelayakan menyatakan besar deformasi radial pada gaya 50 kN yaitu 0,75 mm dan pada sampel memiliki besar deformasi radial sebesar 9,1 mm.

Besarnya nilai deformasi radial dipengaruhi oleh beberapa faktor, faktor tersebut adalah:

a. Gaya yang bekerja

Besar gaya ini sangat mempengaruhi besarnya deformasi radial yang terjadi dan semakin besar gaya maka semakin besar pula deformasi yang terjadi. Ketentuan besarnya gaya yang ditunjukkan pada syarat kelayakan deformasi radial adalah didapat dari kajian tentang gaya yang bekerja pada *traction rod* akibat dari beban kereta, percepatan maksimum, dan variabel-variabel yang menentukan besar gaya yang bekerja pada *traction rod* dalam arah lateral. Kajian ini dilakukan oleh PT. INKA

sehingga dapat menentukan syarat kelayakan untuk deformasi radial seperti pada Gambar 2.7.

b. Spesifikasi spesimen karet.

Faktor ini seperti halnya pada deformasi torsional. Spesimen karet bagian atas pada *rubber bushing* akan memberikan gaya perlawanan terhadap gaya radial yang merupakan peran dari sifat kuat tariknya, sedangkan spesimen karet pada bagian bawah merupakan bidang yang dikenai tekanan dari kern axle dan gaya perlawanan yang terjadi merupakan peran dari sifat pampatannya.

c. Luas permukaan kern axle yang rekat dengan spesimen karet.

Luasan ini berpengaruh pada gaya perlawanan terhadap gaya yang menekan spesimen karet. Melihat dari Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa gaya perlawanan tersebut merupakan peran dari spesimen karet yang merekat pada permukaan kern axle yang bagian atas dan luasnya setengahnya permukaan, sedangkan permukaan bagian bawah adalah merupakan bidang yang dikenai tekanan (P). Spesimen karet bagian atas ini memberikan gaya perlawanan yang besarnya sebanding dengan besar kuat tarik spesimen karet. Pada pengujian radial, spesimen karet mengalami regangan yang relatif sangat kecil sehingga gaya tarik (gaya perlawanan) juga sangat kecil dibandingkan dengan gaya yang bekerja pada pengujian deformasi radial. Besar gaya perlawanan tersebut dapat diperkirakan besarnya dengan melihat karakteristik kuat tarik spesimen karet alam pada Gambar 2.11. Dari keterangan tersebut dapat dikatakan bahwa gaya perlawanan (F_p) dari spesimen karet pada bagian atas memiliki pengaruh yang kecil terhadap besar deformasi radial.

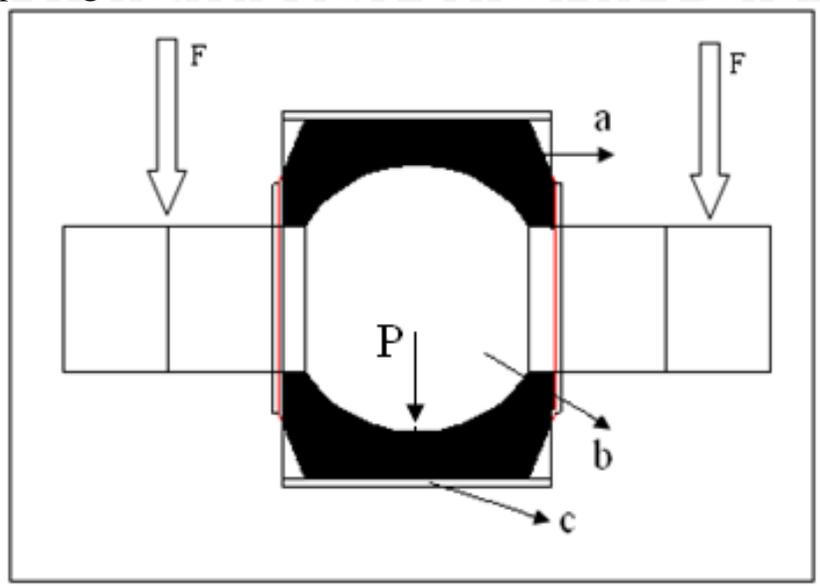
d. Luas penampang penekan spesimen karet.

Luas penampang penekan spesimen karet dipengaruhi oleh bentuk dari kern axle. Semakin besar luas penampang yang tegak lurus dengan arah gaya pengujian radial maka semakin kecil tekanan yang bekerja pada spesimen karet, sehingga deformasi yang terjadi juga semakin kecil dan sebaliknya. Dari persamaan (1) dan (6) dapat diketahui hubungan luas penampang dengan besar deformasi radial sebagai berikut:

$$F_{total} = F - F_p \dots\dots\dots(10)$$

$$\frac{F_{total}}{A} = E \cdot \varepsilon \dots\dots\dots(11)$$

Kern axle berbentuk bola dengan jari-jari 35 mm seperti terlihat pada gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Pengujian deformasi radial

F adalah gaya yang menyebabkan terjadinya deformasi radial, a adalah spesimen karet, b adalah kern axle, dan c adalah kern bagian luar. Kern axle berbentuk bola sehingga luasan penekan yang tegak lurus dengan arah gaya F adalah merupakan sebuah titik atau dikatakan sangat kecil yang mengakibatkan tekanan P sangat besar sehingga deformasi radial yang terjadi terlalu besar. Untuk memperkecil deformasi radial perlu memperluas bidang penekan yang tegak lurus dengan spesimen *rubber bushing*.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil data yang diperoleh dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sampel spesimen karet memiliki spesifikasi yang sangat mendekati dengan spesimen karet di PT. INKA sehingga dapat dikatakan layak dan bisa direkomendasikan untuk digunakan dalam pembuatan *rubber bushing*. Spesifikasi tersebut meliputi sifat kekerasan yaitu 57,40 Shore A, pampatan tetap (30%;22 jam;70⁰C) sebesar 25,83%, perpanjangan tetap sebesar 616,67%, dan deformasi sebesar 1,86 mm pada pampatan dengan beban sebesar 6000 Kgf. Sampel spesimen karet ini memiliki komponen utama yaitu karet alam (NR) jenis RSS 1 dengan penambahan *filler* penguat *carbon black* ISAF sebesar 50 phr, dan komponen yang lain yaitu santoflex 2 phr, stearic acid 1,5 phr, zinc okside 5 phr, minarex B 18 phr, dan dengan menggunakan sistem vulkanisasi konvensional dengan sulfur 2,5 phr dan santocure. NS 0,6 phr.

Sampel *rubber bushing* memiliki deformasi torsional yang sesuai dengan ketentuan di PT. INKA yaitu 18⁰ pada gaya torsional sebesar 450 Nm, namun untuk deformasi radialnya terlalu besar bila dibandingkan dengan syarat kelayakannya yaitu 9,1 mm. Terlalu besar nilai deformasi radial tersebut disebabkan karena terlalu kecilnya luas permukaan penampang pada *kern axle* yang tegak lurus dengan arah gaya pada pengujian deformasi radial sehingga tekanan yang terjadi terlalu besar.

5.2 Saran

Perlu dilakukan modifikasi bentuk *kern axle* untuk memperkecil deformasi radial yaitu dengan memperbesar luas bidang penekan yang tegak lurus dengan arah gaya pada pengujian deformasi radial (dapat dibandingkan dengan dimensi *rubber bushing* produk dari Singapore pada lampiran 10) dan dengan memperhatikan total luas permukaan *kern axle* yang rekat dengan spesimen karet untuk memperkirakan nilai deformasi torsional atau dengan perkiraan sementara untuk total luas tersebut antara $(33,246\pi - 83,116\pi) \text{ cm}^2$. Di samping itu juga perlu dilakukan pengujian lelah (fatigue).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

Anwar, Chairil, 2006. **Perkembangan Pasar dan Prospek Agribisnis Karet**. Pusat Penelitian Karet, Balai Penelitian Sungei Putih. Medan

Freakley, Payne, 1978. **Theory and Practice of Engineering with Rubber**. Science Publishers Ltd. London.

Lindley. P. B, 1964. **Engineering Design with Natural Rubber**. The Malaysian Rubber Producers'. Hertford, England.

M. Gere, James & Stephen P. Timoshenko, 2000. **Mekanika bahan jilid 2**. Erlangga. Jakarta

Monsanto Rubber Chemical Division, 1981. **Compounders Handbook International Edition**. Monsanto Rubber Chemical Division, Akron, Ohio 44313.

Morton, Maurice, 1959. **Rubber Technology Second Edition**. Van Nostrand Reinhold Company. New York.

Siswoputranto, P.S. 1981. **Perkembangan Karet Internasional**. Lembaga Penunjang Pembangunan Nasional. Jakarta

The Malaysian Rubber Producers' Research Association. 1984. **The Natural Rubber Formulary and Property Index**. The Malaysian Rubber Producers' Research Association. England.



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1. Gambar sampel *rubber bushing*



Gambar sampel *rubber bushing* terlihat dari atas atau bawah.

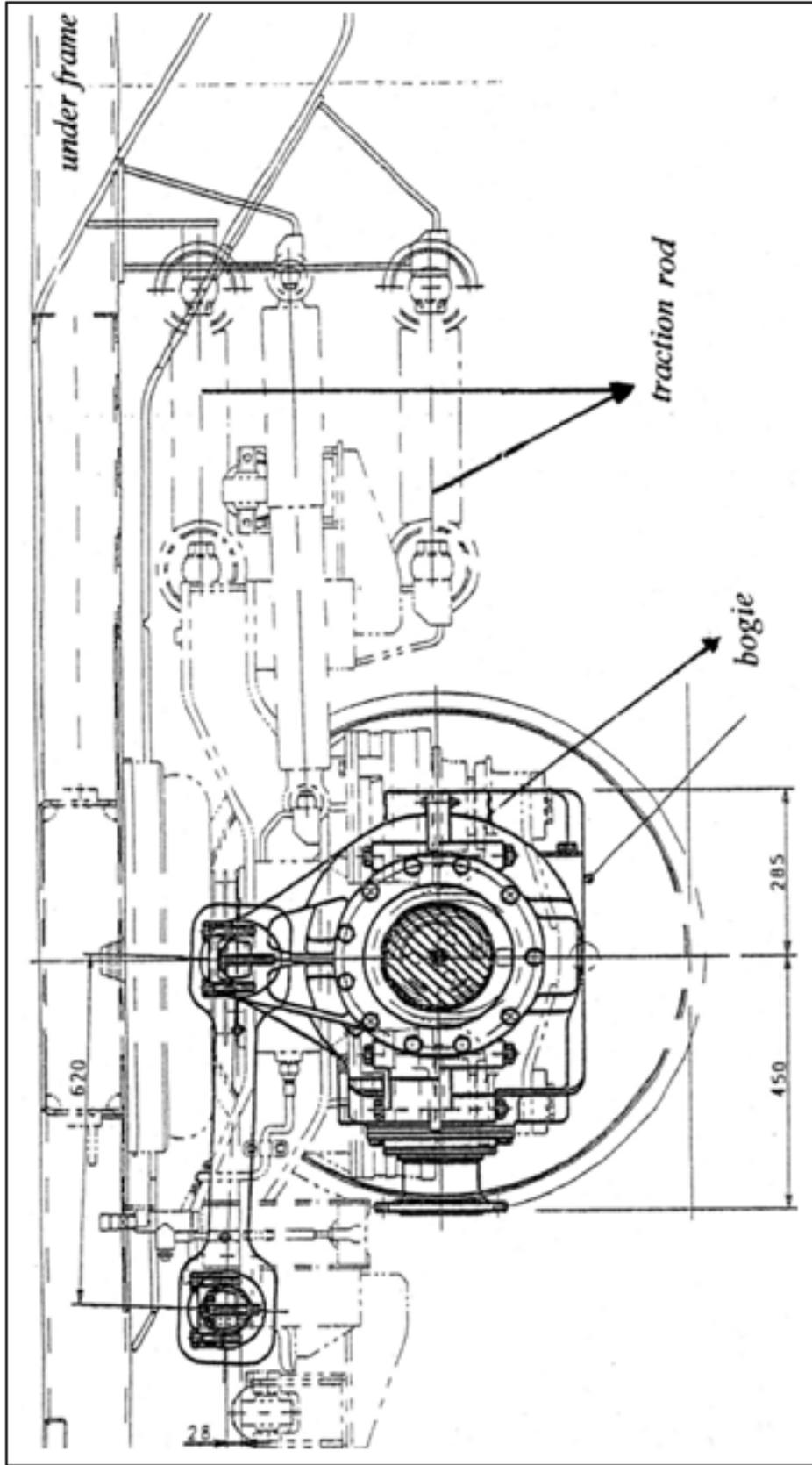


Gambar sampel *rubber bushing* terlihat dari depan dan samping.



Halaman ini sengaja dikosongkan

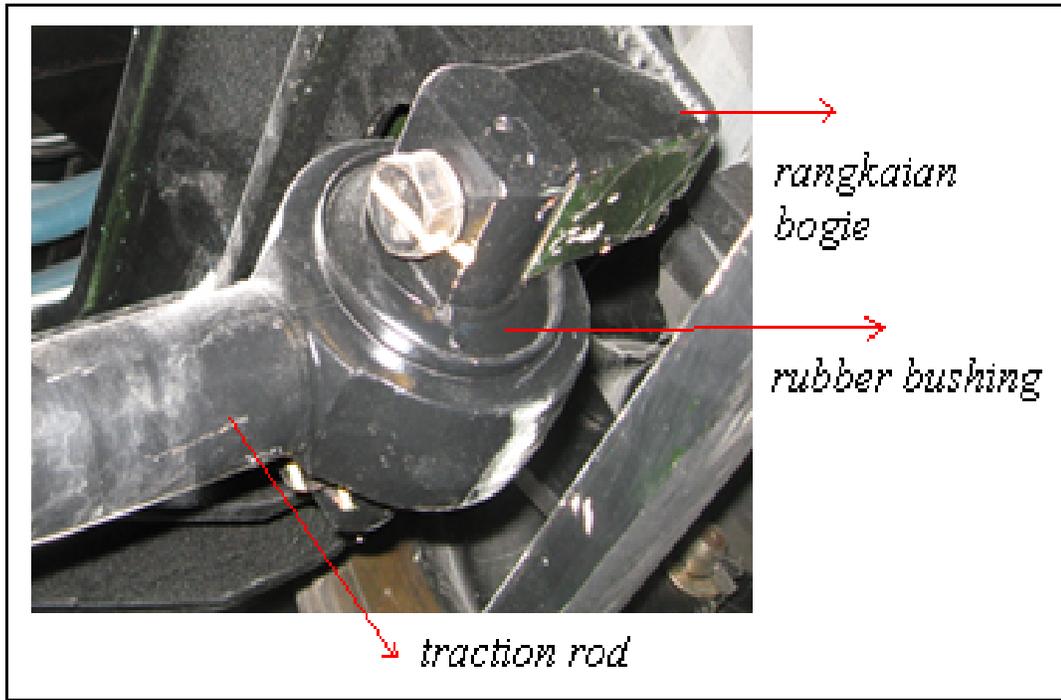
Lampiran 2. Gambar posisi *traction rod* pada kereta api rail bus





Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 3. Gambar pemasangan *rubber bushing* pada *traction rod*.





Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 4. Gambar alat pengujian sampel spesimen karet



Alat uji kekerasan di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik Jl. Sukonandi Jogjakarta



Alat uji kuat tarik di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik Jl. Sukonandi Jogjakarta



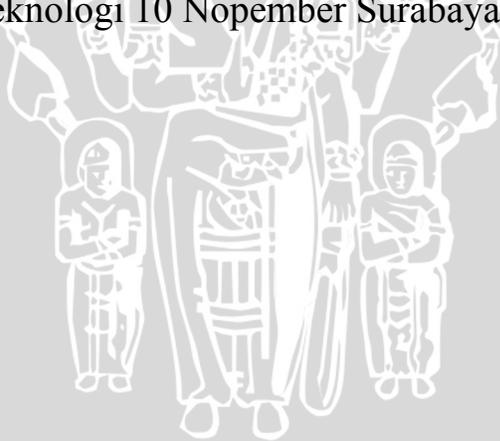
Alat uji pampatan tetap di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik Jl. Sukonandi Yogyakarta



Lampiran 5. Pengujian defleksi pada pembebanan 6000 Kgf



Pengujian di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Mesin Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya





Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 6. Sertifikat pengujian sampel spesimen karet



DEPARTEMEN PERINDUSTRIAN RI
 BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR KULIT, KARET DAN PLASTIK
 LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI
 Jalan Sokonandi No. 9 Telp. (0274) 512929, 563939, 563655, Fax. (0274) 563655
 YOGYAKARTA - 55166



Nomor Seri : 2009.b.0105/E
 Number Series

FA. 10 - LPK
 Halaman : 1 dari 1
 Page : 1 of 1

SURAT TANDA UJI (STU) (Testing Certificate)

Nomor Pengujian : 105/LUKKAPS - KARET/III/09
Test Report Number
Bahan / Barang : KARET VULKANISAT
Material / Commodity
Kondisi Sampel : Baik
Condition of Sample
Merek / Kode : -
Mark / Code
Contoh Diterima Tanggal : 4 MARET 2009
Sample Received on
Contoh Mulai Diuji Tanggal : 6 MARET 2009
Sample Start Tested on
Dibuat Untuk : YTH. Sdr. AFID ASHARI NIM 0410930001
Name and Address of Client FAKULTAS MIPA – JURUSAN FISIKA, UNIVERSITAS BRAWIJAYA, Jl. MAYJEN HARYONO No. 169 MALANG 65145, sesuai surat Saudara No: 068/ J10.1.28.1.3/AK/2009 tanggal 24 Februari 2009.

Metode Uji : JIS
Testing Methodes
Hasil Pengujian : sebagai berikut,
Test Result

No.	MACAM UJI	HASIL UJI	METODA UJI
1.	Kekerasan, Shore A	57,40	JIS K 6301
2.	Pampatan tetap (30%; 22 jam; 70°C), %	25,83	
3.	Kuat tarik, kg/cm ²	250,50	
4.	Perpanjangan tetap, %	616,67	

Hanya berlaku untuk contoh yang diuji. Tidak diperkenankan menyalin/memperbanyak sebagian atau seluruhnya tanpa izin dari pemegang sertifikat dan LPK-BBKKP.
 The result of this testing is valid for the mentioned sample, do not copy without permission of the client and LPK-BBKKP

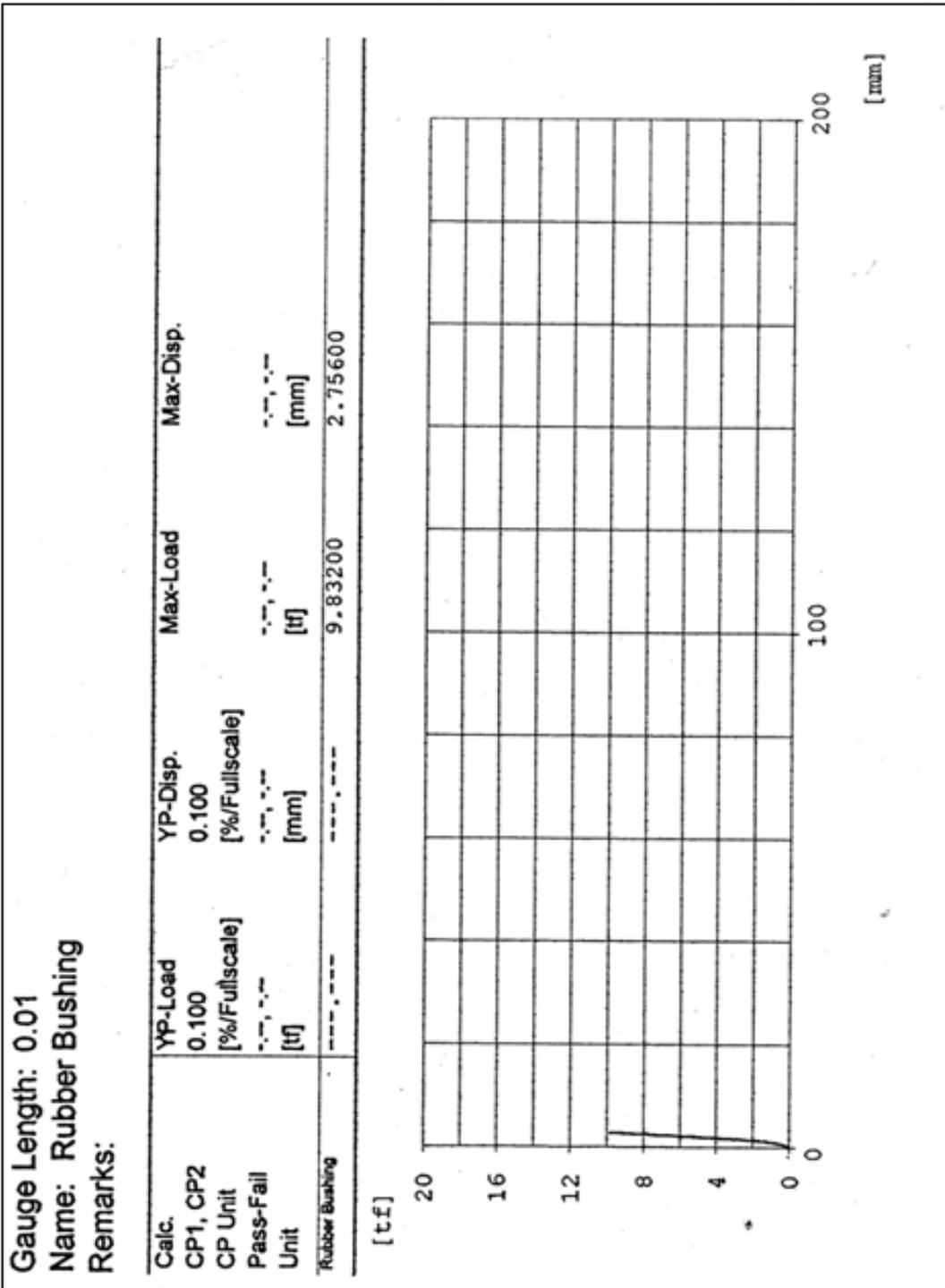
Yogyakarta, 13 Maret 2009.
 Manajer Teknis Pengujian

 I. E. RATNA UTARIANINGRUM, MSI
 NIP. 090021113



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 7. Hasil pengujian defleksi pada pembebanan 6000 Kgf





Halaman ini sengaja dikosongkan

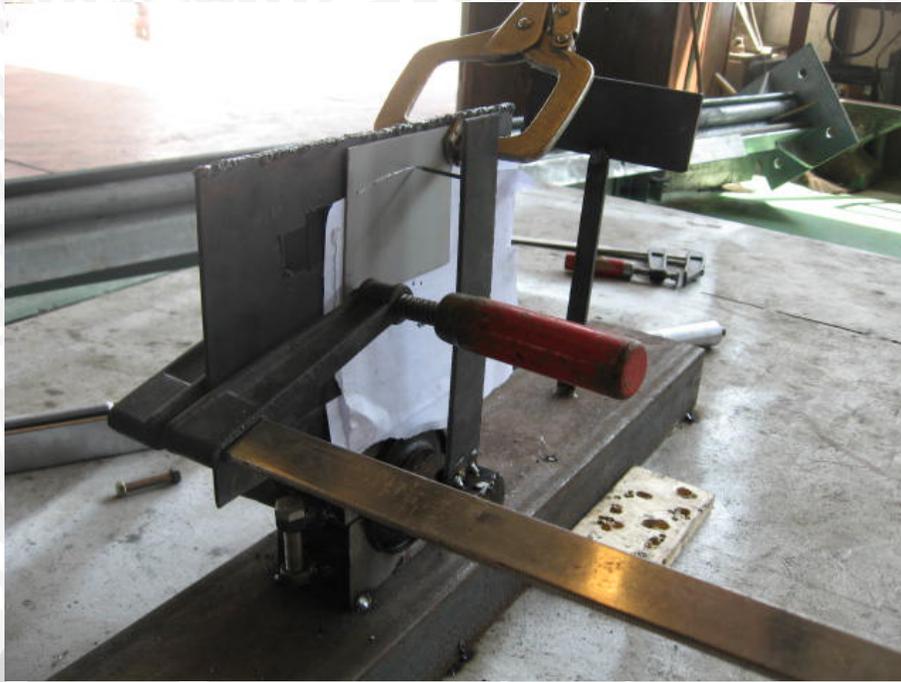
Lampiran 8. Gambar pengujian instruksi *rubber bushing*



Pengujian radial di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya



Pengujian torsional terlihat dari depan (lokasi di PT. INKA)



Pengujian torsional terlihat dari belakang (lokasi di PT. INKA)



Lampiran 9. Hasil pengujian sampel *rubber bushing*

1. Pengujian radial



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LABORATORIUM METALURGI FISIK

Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 214 Malang 65145

DATA UJI TEKAN

No.	Pembebanan	Defleksi	
		Material I	Material II
1	10 KN	2.8 mm	4.2 mm
2	20 KN	5 mm	5.1 mm
3	30 KN	7.6 mm	6.7 mm
4	40 KN	9 mm	7.8 mm
5	50 KN	9.6 mm	8.6 mm



Malang, 09 Juni 2009

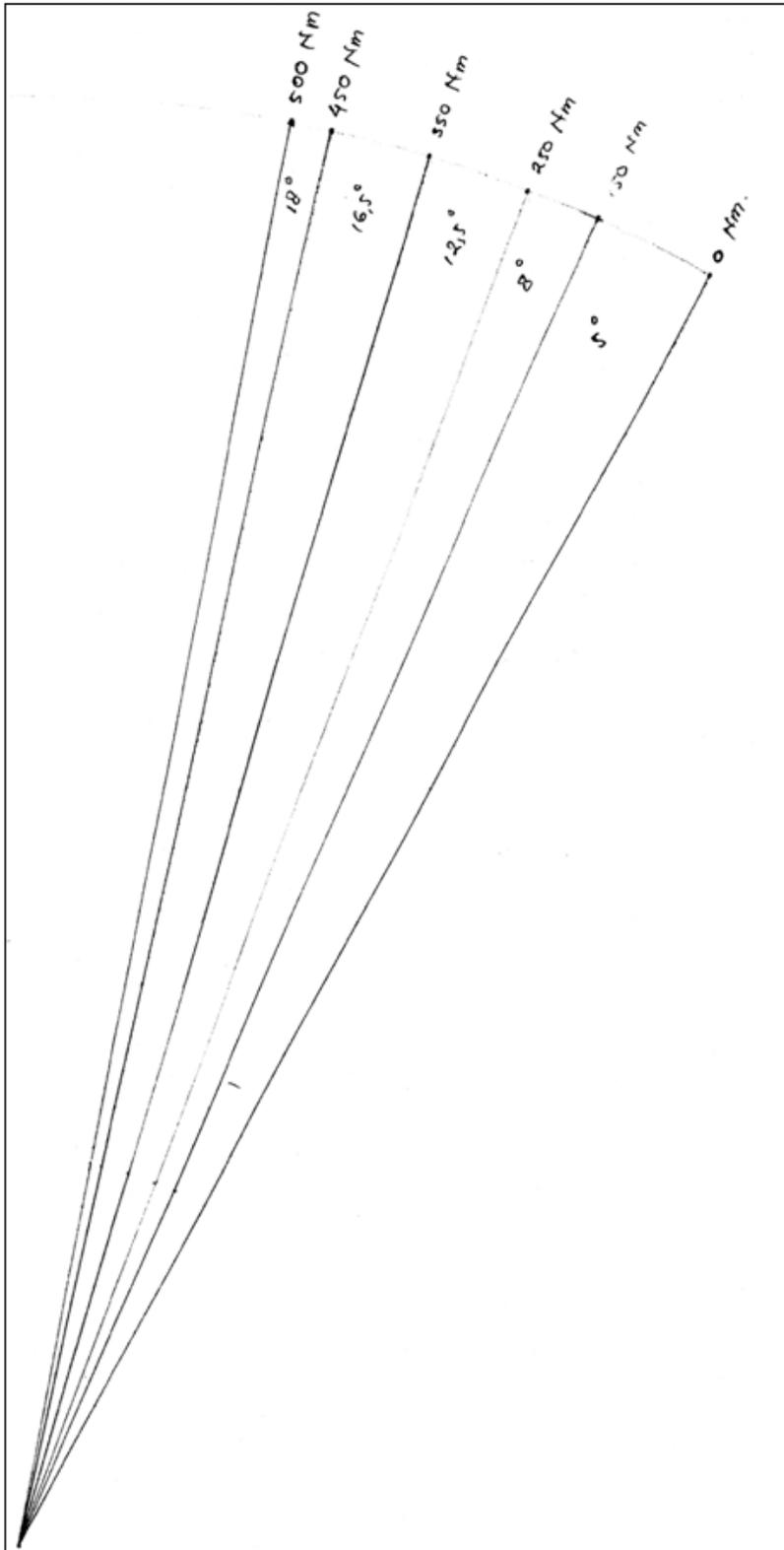
Ka. Lab. Metalurgi Fisik

Sugiarto, ST., MT.

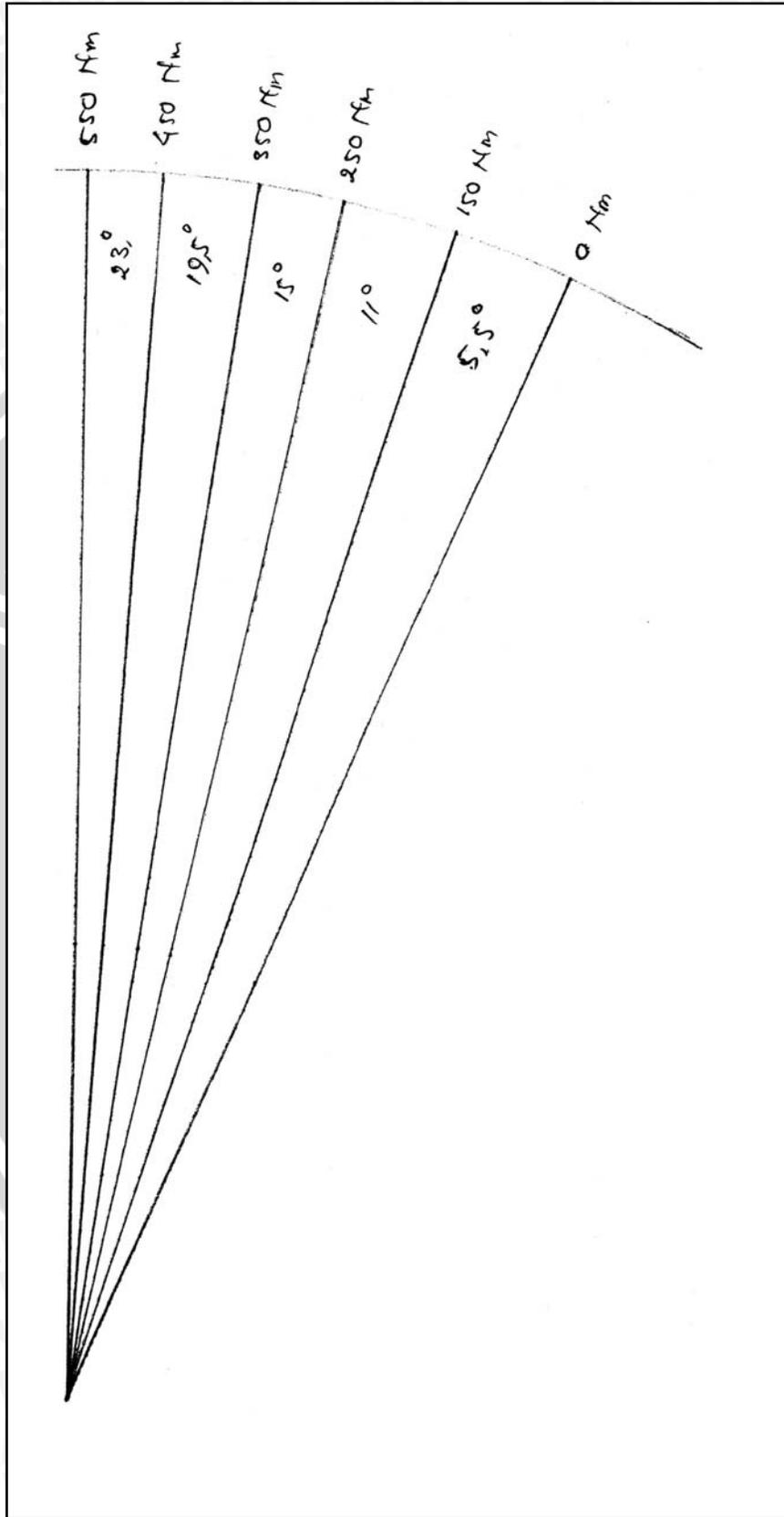
NIP. 132 137 956

2. Deformasi torsional

Sampel *rubber bushing* I



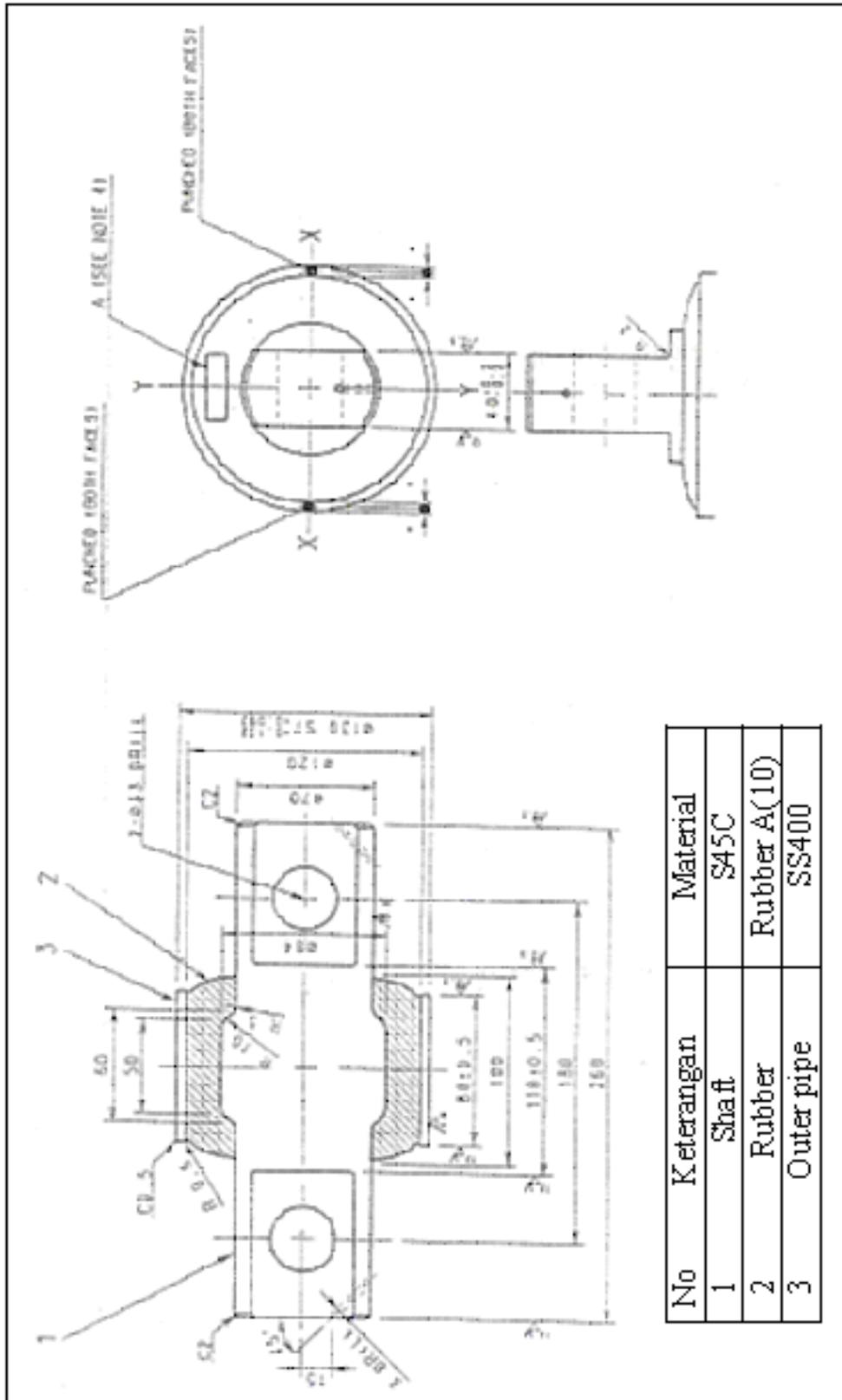
Sampel *rubber bushing* II





Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 10. Dimensi *rubber bushing* produk dari Singapore

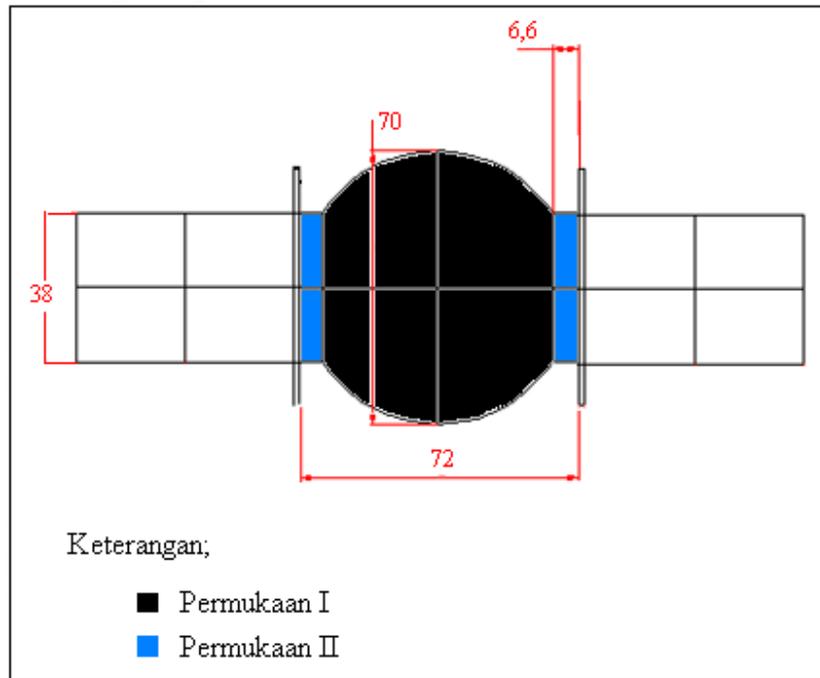


(Sumber: Pengadaan PT. INKA)



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 11. Perhitungan luas permukaan kern yang rekat dengan spesimen karet.



Luas permukaan yang diperoleh dari memutar kurva $y = f(x)$, $a \leq x \leq b$ terhadap sumbu x dengan persamaan berikut:

$$S = \int_a^b 2\pi y \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

- Luas permukaan I

Luas permukaan I adalah merupakan luasan yang diperoleh dari memutar busur lingkaran dengan jari-jari 3,5 cm terhadap sumbu x . persamaan busur lingkaran adalah:

$$x^2 + y^2 = r^2$$

$$y = \sqrt{r^2 - x^2}$$

$$y = \sqrt{12,25 - x^2}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2}(12,25 - x^2)^{-1/2}(-2x)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-x}{\sqrt{12,25 - x^2}}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas didapat luas permukaan I berikut:

$$S_1 = \int_{-2,94}^{2,94} 2\pi y \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$S_1 = \int_{-2,94}^{2,94} 2\pi \sqrt{12,25 - x^2} \sqrt{1 + \frac{x^2}{12,25 - x^2}} dx$$

$$S_1 = \int_{-2,94}^{2,94} 2\pi \sqrt{12,25 - x^2} \frac{3,5}{\sqrt{12,25 - x^2}} dx$$

$$S_1 = 7\pi \int_{-2,94}^{2,94} 1 dx$$

$$S_1 = 7\pi (5,88)$$

$$S_1 = 41,16\pi \text{ cm}^2$$

- Luas permukaan II

Luas permukaan II adalah merupakan luasan yang diperoleh dari memutar kurva $y = 1,9 \text{ cm}$, sehingga luasnya dapat diketahui sebagai berikut:

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

$$S_2 = 2 \int_{-0,33}^{0,33} 2\pi y \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$S_2 = 4\pi \int_{-0,33}^{0,33} y dx$$

$$S_2 = 4\pi \int_{-0,33}^{0,33} 1,9 dx$$

$$S_2 = 7,6\pi (0,66)$$

$$S_2 = 5,016\pi \text{ cm}^2$$

Jadi total luas permukaan kern axle yang rekat dengan spesimen karet adalah:

$$S_{tot} = S_1 + S_2$$

$$S_{tot} = 41,16\pi + 5,016\pi$$

$$S_{tot} = 46,176\pi \text{ cm}^2$$