

Kode>Nama Rumpun Ilmu*: 431/Teknik Mesin

**LAPORAN TAHUNAN
PENELITIAN HIBAH BERSAING**



**MANFAAT BEBAN DINAMIK KENDARAAN RODA EMPAT SEBAGAI PENGHASIL
ENERGI TERBARUKAN PENGGANTI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM)**

Tahun ke 1 dari rencana 2 Tahun

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Surat Pejanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian
Nomor: 194/SP2H/LT/DRPM/III/2016, tanggal 10 Maret 2016

OLEH

IR. SIMON KA'KA, M.T./NIDN 0013095908

ABRAM TANGKEMANDA, S.T., M.T. /NIDN 0017086512

IR. REMIGIUS TANDIOGA, M.Eng.Sc./NIDN 0010126207

**POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
NOPEMBER 2016**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : MANFAAT BEBAN DINAMIK KENDARAAN RODA EMPAT SEBAGAI PENGHASIL ENERGI TERBARUKAN PENGGANTI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM)

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : Ir. SIMON KA KA M.T
Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Ujung Pandang
NIDN : 0013095908
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Teknik Manufaktur
Nomor HP : +6281241713428
Alamat surel (e-mail) : kakasimon@ymail.com

Anggota (1)
Nama Lengkap : ABRAM TANGKEMANDA S.T
NIDN : 0017086512
Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Ujung Pandang


Anggota (2)
Nama Lengkap : Ir REMIGIUS TANDIOGA
NIDN : 0010126207
Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Ujung Pandang
Institusi Mitra (jika ada) : -
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 50.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 150.000.000,00

Mengetahui,
Direktur Politeknik



(Dr. Ir. Hamzah Yusuf, M.S.)
NIP/NIK 19581101198031001

Makassar, 28 - 11 - 2016
Ketua,



(Ir. SIMON KA KA M.T)
NIP/NIK 195909131988031001

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian



(Ir. Suryanto, M.Sc.Ph.D.)
NIP/NIK 195908261988031002

RINGKASAN

Krisis energi saat ini semakin terasa dampaknya seiring dengan meningkatnya keperluan masyarakat pengguna sementara harga minyak mentah dunia selalu berfluktuatif dari waktu ke waktu.

Tujuan jangka panjang penelitian ini adalah untuk mengatasi krisis energi fosil melalui usaha pengurangan penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM).

Target khusus yang ingin dicapai adalah mengkonversi beban dinamis vertikal kendaraan roda empat menjadi udara bertekanan sebagai energi terbarukan yang dapat dipakai sebagai cadangan energi. Target tersebut dapat dicapai dengan metode substitusi yakni menggantikan pemakaian energi bahan bakar minyak dengan beban dinamis berulang kendaraan yang sedang melintas di jalan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengisap dan menginjeksikan udara luar ke dalam tangki penyimpanan menggunakan beban dinamis vertikal kendaraan roda empat. Beban dinamis vertikal tersebut diperoleh melalui mekanisme kerja portal fleksibel yang dipasang secara melintang di permukaan jalan. Mekanisme injeksi dilakukan oleh torak silinder pneumatik yang diaktuatori naik dan turun oleh portal yang terlindas oleh roda (ban) kendaraan. Proses penyimpanan energi udara bertekanan tersebut didukung oleh pemasangan beberapa katup non balik (non return valve) dan sambungan reduser pada kedua saluran masuk tangki penyimpanan. Variasi bobot kendaraan ringan, sedang dan berat yang melintasi permukaan jalan secara simultan akan memompa udara luar ke dalam tangki penyimpanan. Luaran penelitian ini adalah berupa sistem penyimpanan udara bertekanan di dalam tangki bertekanan sebagai energi terbarukan (Renewable Energy), untuk selanjutnya dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sesuai keperluan seperti pelayanan service kendaraan, keadaan darurat dan sebagainya.

Hasil kegiatan penelitian yang diperoleh pada tahun pertama adalah disain alat simulasi kontrol aliran dengan software Fluid Sim, alat uji beban dinamis kendaraan serta rangkaian portal injektor udara menggunakan silinder pneumatik. Proses pengujian yang telah dilakukan menunjukkan kinerja yang hasilnya ditandai oleh pergerakan piston dan batang piston naik dan turun tanpa mengalami hambatan. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh melalui pengujian beban dinamis kendaraan dan analisis terhadap hasil desain yang telah dibuat, maka dapat diperoleh besar kenaikan tekanan udara melalui proses injeksi silinder pneumatik ke dalam tangki bertekanan berkisar mulai 0,3 bar sampai 0,5 bar. Semakin besar beban dinamis dari kendaraan semakin tinggi pula kenaikan tekanan udara masuk ke dalam tangki penyimpanan udara bertekanan. Energi terbarukan yang diperoleh dari sistem injeksi sistem pneumatik ini mengacu pada tidak digunakannya energi listrik, bahan bakar minyak (BBM) dan biaya pengadaan kompresor untuk menghasilkan udara bertekanan.

Kata kunci: Beban Dinamis, energy terbarukan, Silinder Pneumatik, udara bertekanan, Tangki penyimpanan.

PRAKATA

Segala puji penulis panjatkan ke hadirat Tuhan yang maha kuasa atas perkenanNya sehingga kegiatan penelitian Hibah Bersaing tahap I, tahun 2016 dapat berlangsung sebagaimana mestinya. Kegiatan penelitian Hibah Bersaing yang diusulkan oleh tim peneliti dalam dua tahap kegiatan adalah mengacu pada aturan-aturan yang telah ditetapkan oleh tim penyusun dari Kementerian Riset dan Teknologi dan Pendidikan Tinggi. Target yang akan dicapai dari kegiatan penelitian ini adalah bagaimana memanfaatkan beban dinamis kendaraan untuk memperoleh energy terbarukan secara Cuma-Cuma. Patut dicatat bahwa bahan bakar minyak (BBM) masih menempati peringkat atas untuk digunakan sebagai pembangkit energy. Apabila tidak segera dilakukan suatu tindakan efisiensi atau alternative lain untuk menghasilkan energy maka cadangan penghasil energy akan mengalami krisis. Udara bertekanan yang tersimpan dalam tangki merupakan sumber energy yang selama ini masih menggunakan energy listrik atau BBM. Sebuah kajian yang diusulkan oleh tim peneliti melalui skim Hibah Bersaing ini adalah memanfaatkan beban dinamis kendaraan untuk menghasilkan udara bertekanan menggantikan BBM dan tenaga listrik. Sehubungan dengan penelitian ini maka penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kemenristekdikti atas kontribusi dan dukungan dana yang disediakan sehingga kegiatan penelitian ini dapat berlangsung sesuai jadwal yang direncanakan.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Beban Dinamis Vertikal Kendaraan	3
2.2. Studi Pendahuluan Yang Dilakukan	5
2.3. System Suspensi Kendaraan Roda Empat	6
2.4. Momen Kopel	8
2.5. Pengadaan Udara Bertekanan	10
2.6. Karakteristik Udara Bertekanan	11
2.7. Mekanisme Penyimpanan Udara Bertekanan	11
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	12
3.1. Tujuan Khusus	12
3.2. Manfaat Penelitian	12
BAB 4. METODE PENELITIAN	15
4.1. Alur Kegiatan Penelitian	15
4.2. Bagan Penelitian	16
4.3. Proses Penelitian	16
4.4. Luaran Penelitian	17
4.5. Tempat Pelaksanaan	18
4.6. Indikator Capaian	18

BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	19
5.1. Mekanisme Penggerak Piston Silinder	.....	19
5.2. Disain rangka dudukan silinder	.....	19
5.3. Portal Injeksi	.....	20
5.4. Rangkaian Penyimpanan Energi	.....	20
5.5. Pengujian dan Pengumpulan Data	.....	21
5.6. Beban Dinamis dan Gaya Ungkit	.....	22
5.7. Kemajuan Kegiatan Penelitian	.....	24
BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA	.....	25
6.1 Rencana Kegiatan Penelitian	.....	25
6.2 Jadwal Penelitian	.....	25
BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN	.....	26
7.1 Kesimpulan	.....	26
7.2 Saran	.....	26
DAFTAR PUSTAKA	.....	27
LAMPIRAN-LAMPIRAN	.....	28

DAFTAR TABEL

Nomor	Uraian	Halaman
Tabel 2.1	Data-data Berat kosong/Total Kendaraan	5
Tabel 5.1	Pengumpulan data tekanan udara hasil pengujian	22
Tabel 5.2	Hubungan beban dinamis dan gaya ungkit	22
Tabel 5.3	Keadaan Pelaksanaan Penelitian tahun 2016	24
Tabel 6.1	Jadwal pelaksanaan penelitian	25

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Uraian	Halaman
Gambar 2.1	Variasi beban gandar tunggal pada kecepatan 20 dan 40 mph . . .	3
Gambar 2.2	Gaya Lateral dan Roda Dinamis	4
Gambar 2.3	Model sistem suspensi pada kendaraan	6
Gambar 2.4	(a) Model suspensi pasif (b) Model suspensi aktif (c) Unit suspense (coil spring and shock absorber)	7
Gambar 2.5	Defleksi pegas suspense yang mengalami beban	8
Gambar 2.6	Sistem frekwensi pegas suspense	8
Gambar 2.7	Kinerja beban dinamis kendaraan sebagai pengungkit/ penggerak torak silinder Pneumatik	9
Gambar 2.8	Proses injeksi dan pemampatan udara dalam ruang silinder	10
Gambar 2.9	Rangkaian proses saluran injeksi udara ke tangki bertekanan	11
Gambar 3.1	Mekanisme Penyimpanan Energi dari Beban Dinamis Kendaraan	13
Gambar 3.2	Beban Dinamis Vertikal Kendaraan Terhadap Pegas	13
Gambar 4.1	Rencana Kegiatan dan Alur Penelitian	15
Gambar 4.2	Bagan Alir Penelitian	16
Gambar 5.1	Batang aktuasi piston	19
Gambar 5.2	Bentuk Rangka dudukan silinder	19
Gambar 5.3	Disain portal dan kerja beban dinamis kendaraan	20
Gambar 5.4	Rangkaian pengisian dan mekanisme penyimpanan	20
Gambar 5.5	Hubungan beban dinamis, gaya unkit, dan Pertambahan tekanan dengan Jenis kendaraan	23

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Uraian	Halaman
Lampiran 1	Jenis dan Model Instrumen Penelitian	29
Lampiran 2	Personalia Tenaga Peneliti beserta Kualifikasinya	30
Lampiran 3	HKI dan Publikasi	31
	Hak Kekayaan Intelektual	31
	Publikasi (Draft Jurnal)	32

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejumlah kendaraan roda empat atau lebih yang melintas di atas permukaan jalan raya setiap saat menghasilkan sejumlah beban dinamis yang belum termanfaatkan. Terkait dengan semakin menipisnya cadangan energi mineral yang bersumber dari fosil-fosil di dalam tanah, maka perlu opsi solusi untuk mengatasi krisis tersebut. Suatu kajian inovatif tentang bagaimana mengkonversi /mengubah atau menyerap energi beban dinamis vertikal kendaraan menjadi energi terbarukan yang dapat disimpan tanpa memakai bahan bakar minyak (BBM) merupakan alternatif solusi yang dapat diperhitungkan.

Berbagai kegiatan masyarakat yang berpenghasilan golongan menengah kebawah adalah melakukan pelayanan umum sehari-harinya seperti mendirikan Bengkel sederhana untuk kegiatan service kendaraan ringan (roda dua) dan kendaraan berat(roda empat atau lebih), menambah tekanan angin/udara atau menambal ban kendaraan di pinggir jalan. Untuk mendukung kegiatan tersebut diperlukan energi yang selalu tersimpan dalam sebuah tangki berupa udara bertekanan (udara mampat). Proses pengambilan dan penyimpanan udara bertekanan tersebut sebelumnya diperoleh dengan mengoperasikan kompresor menggunakan bahan bakar minyak (BBM).

Suatu upaya yang dilakukan untuk memanfaatkan energi gerak dari setiap kendaraan yang melintas di jalan menjadi energi terbarukan tidak terlepas dari usaha untuk mengurangi penggunaan BBM sebagai sumber energi mineral. Kajian yang inovatif ini didasarkan pada pengetahuan dasar sebuah pompa torak bekerja dengan penggerak utamanya adalah sebuah motor bakar. Apabila sistem penggeraknya digantikan oleh beban dinamis dari kendaraan yang bekerja pada portal fleksibel, maka hampir dipastikan bahwa mekanisme tersebut dapat menghasilkan kajian eksperimen yang optimum untuk menghasilkan energi terbarukan pengganti BBM.

1.2. Rumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang sangat urgen untuk dikaji lebih lanjut melalui kegiatan penelitian ini dirumuskan sbagai berikut:

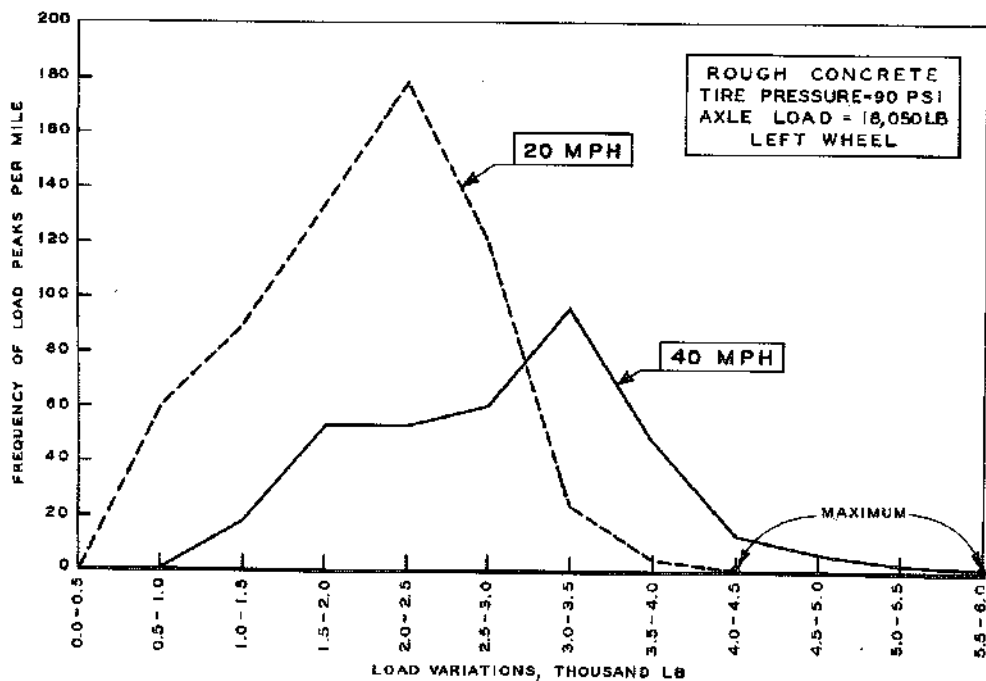
1. Bagaimana memanfaatkan beban dinamis kendaraan, BVdk sebagai pembangkit energy terbarukan menggantikan Bahan Bakar Minyak (BBM)
2. Bagaimana menyimpan dan menyiapkan energy proses tersebut secara Cuma-Cuma bagi masyarakat
3. Bagaimana menekan biaya investasi pengadaan alat bagi masyarakat yang ingin melakukan usaha perbengkelan perawatan kendaraan secara mandiri

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

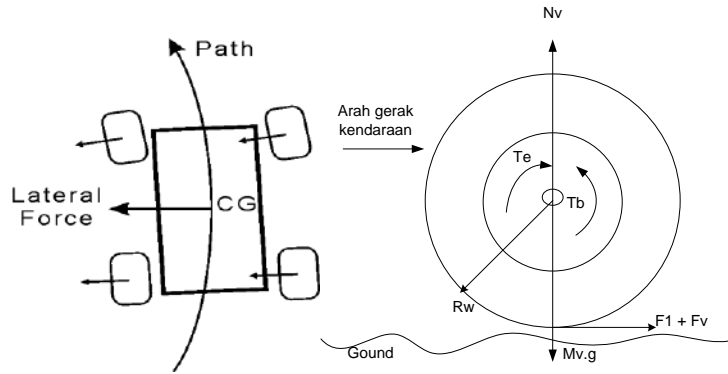
2.1. Beban Dinamis Vertikal Kendaraan

Efek beban dinamis kendaraan menurut (Finney, 2010) adalah mengacu pada pemecahan masalah yang mendasar antara lain fluktuasi beban gandar oleh beban yang bervariasi, variasi kecepatan dan kondisi jalanan (Pavement conditions). Variasi beban dinamis pada gandar roda berdampak pada system suspensi pegas yang membebani ban kendaraan. Adanya perubahan gaya-gaya adalah sebagai hasil dari perubahan dalam arah horizontal, vertical dan gerakan putar roda/ban kendaraan. Pada permukaan jalan beton kecepatan dan tekanan ban adalah tetap sebesar 40 mph dan 70 psi dengan beban statis gandar adalah 18,050 lb.



Gambar 2-1, Variasi beban gandar tunggal pada kecepatan 20 dan 40 mph. Beban dampak maksimum yang terjadi pada roda sebelah kanan adalah sekitar 7500 lb.

Gaya lateral yang terjadi pada jalan yang berbelok diungkapkan oleh (Siahaan, 2014) adalah merupakan fungsi dari sudut slip α yang mana radiusnya dapat berubah-ubah. Kondisi gaya lateral (F_y) dan gambaran roda yang melintas di atas permukaan yang bergelombang ditunjukkan dalam Gambar 2-2.



Gambar 2-2, Gaya Lateral dan Roda Dinamis

Persamaan dinamis untuk gerakan berputar menghasilkan kecepatan keliling sebesar:

$$\omega_w = [T_e - T_b - R_w F_t - R_w F_w] / J_w \quad (2.1)$$

Yang mana:

J_w : Momen Inersia roda, R_w : Jari-jari roda, T_e : Torsi poros mesin, T_b : Torsi Pengereman, F_t : Gaya tarik ban, F_w : gaya gesek roda.

Gaya gerak ban yang mengalami pengereman diberikan oleh persamaan berikut

$$F_t = \mu(\lambda) N_v \quad (2-2)$$

Gaya normal ban (gaya reaksi dari tanah terhadap ban) N_v adalah tergantung pada parameter kendaraan seperti bobot kendaraan, titik berat dan system sus-pense dinamis kendaraan. Untuk kondisi kering pada aspal dan beton, koefisien adhesinya $\mu(\lambda) = 0.1$ dan 0.9 .

Secara matematika slip roda kendaraan dirumuskan sebagai:

$$\lambda = (\omega_w - \omega_v) / \omega, \omega \neq 0 \quad (2-3)$$

Yang mana $\omega_v = V/R_w =$ kecepatan sudut roda sedangkan $V =$ kecepatan linear roda yang berjari-jari R_w .

Percepatan linear kendaraan adalah perbedaan antara total gaya aksi yang terjadi pada kontak ban - permukaan jalan dan gaya aerodinamis angin dibagi dengan massa/bobot kendaraan yang ditunjukkan pada persamaan (2-4) seperti berikut:

$$a = V' = \frac{[N_w F_t - F_v]}{M_v} \quad (2-4)$$

Dalam hal ini gaya aerodinamis angin F_v sangat tergantung pada keadaan cuaca, $M_v =$ massa/bobot kendaraan, $N_w =$ Jumlah roda kendaraan, $F_t =$ gaya gerak pada ban.

2.2. Studi Pendahuluan Yang Dilakukan

Berbagai sumber referensi tentang berat kosong/total kendaraan adalah sangat variatif seperti yang ditampilkan dalam Tabel 2-1 berikut:

Tabel 2-1, Data-data Berat kosong/Total Kendaraan

Jenis Kendaraan	Spesifikasi (PxLxT) cm	Berat kosong /total (KG)	Sumber Referensi
Sedan Generasi ke-3 2008 - Sekarang	458 x 174 x 148 Jarak sumbu roda 262	1394	Subaru Impreza (Jepang)
Sedan Mitsubishi Lancer 1979-1988	423 x 162 x 139 Jarak sb. Roda: 244	1170 - 1295	Lancer Fortis (Taiwan)
Sedan Mitsubishi Galant 2007 - sekarang	452.3 x 176 x 146 Jarak sb roda: 261.5	1320 - 1599	Mitsubishi Motor Galant Fortis (Jepang)
Semi sedan (Terios) Terbaru, 2015	438.5 x 169.5 x 169.5 Jarak sb roda: 268.5	1615 - 1625	TAMitsubishi Motor PT. Astra Daihatsu Internasional
Pickup, Grandmax 2007 - sekarang	404.5 x 166.5 x 190 Jarak sb roda: 265	1840 - 2000	PT. Astra Daihatsu Internasional
Semi sedan New Rush 2007 - sekarang	442 x 174.5 x 174 Jarak sb roda: 288.5	1850 - 2000	PT. Astra Toyota Internasional
Semi sedan Suzuki R3 2014 - sekarang		1175 - 1185	PT. Sejahtera Buana Trada
Suzuki APV 2014 - sekarang	415.5 x 165.5 x 186.5 Jarak sb roda: 262.5	1150 - 1950	PT. Sejahtera Buana Trada
Suzuki Karimun 2013-sekarang	360 x 147.5 x 170 Jarak sb roda: 240	825 – 835/ Berat Kotor: 1350	PT. Sejahtera Buana Trada
Truck Dyna, 6 roda 2009-sekarang	602.6 x 194.5 x 216.5 Jarak sb roda: 338	7000 - 8250	PT. Toyota Astra Motor
Mini Bus, 4 roda 2009-sekarang	474.5 x 171.7 x 212.0 Jarak sb. Roda: 263	5200	PT. Toyota Astra Motor
Truck Isuzu 2014-sekarang	836.5 x 245.0 x 286.0 Jarak sb roda: 465-650	6640/26000	PT. Isuzu Astra Motor Indonesia
Isuzu D-Max 2013-sekarang	529 x 186 x 178.5 Jarak sb roda: 309.5	1925/2800	PT. Isuzu Astra Motor Indonesia
Isuzu pickup 2013-sekarang	438 x 165 x 172.6 Jarak sb roda: 268	1260/1990	PT. Isuzu Astra Motor Indonesia
Isuzu Panther 2013-sekarang	453.5 x 177 x 187.3 Jarak sb roda: 268.5	-/2170	PT. Isuzu Astra Motor Indonesia

Berdasarkan data-data tersebut, jenis kendaraan sedan yang melintasi permukaan jalan memiliki kisaran bobot 1170 kg sampai 1599 kg atau setara dengan gaya berat sebesar 11700 N sampai 15990 N . Untuk jenis kendaraan

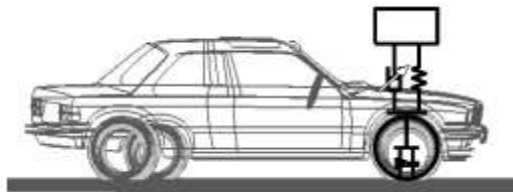
semi sedan dan pickup memiliki bobot 1150 kg sampai 2000 kg atau sebanding dengan gaya berat yang ditimbulkan sebesar 11500 N sampai 20000 N. Jenis kendaraan jelaja medan seperti Isuzu D-Max, Panther dan lainnya mempunyai bobot 1260 kg sampai 2800 kg dengan gaya berat yang ditimbulkan 12600 N sampai 28000 N. Golongan kendaraan semi berat mulai mini bus, truck 4 dan 6 roda memiliki berat 5200 kg sampai 8250 kg atau dengan gaya berat berkisar mulai 52000 N sampai 82500 N.

2.3. Sistem Suspensi Kendaraan Roda Empat

Secara umum sistem suspensi kendaraan menurut (Anggoro Aristianto¹, 2012), terdiri atas sebuah pegas dan sebuah peredam kejut yang disusun secara paralel. Fungsi utama system suspensi adalah (William H. Crouse, 1993):

1. Menyangga berat kendaraan
2. Memberikan kenyamanan pengendara terhadap kondisi jalan yang dilalui
3. Menjaga traksi roda terhadap permukaan jalan
4. Menjaga kesejajaran roda

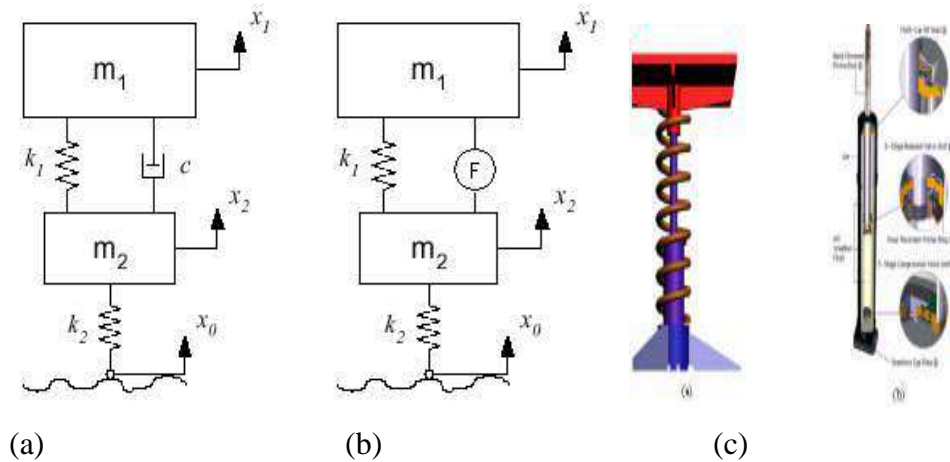
Sistem suspensi terbagi menjadi dua bagian, yaitu sistem suspensi pasif dan sistem suspensi aktif. Sistem suspensi aktif terbagi dua jenis yaitu suspensi *fully active* dan suspensi *semiaktif* (Keum-Shik Hong, 2002).



Gambar 2.3 Model sistem suspensi pada kendaraan

Suspensi pasif masih banyak digunakan kendaraan-kendaraan hingga saat ini. Sistem suspensi ini memiliki konstanta peredaman pada nilai tertentu (tetap), sehingga memiliki tingkat kenyamanan dan keamanan yang tidak dapat dinamis berubah mengikuti kondisi permukaan jalan yang dilalui oleh kendaraan. Susunan sistem suspensi tersebut diperlihatkan gambar 2.4 (a), dengan Massa *sprung* (m_1), massa *unsprung* (m_2), konstanta pegas suspensi (k_1), konstanta elastis model permukaan jalan (k_2), dan peredam kejut (c).

Suspensi aktif merupakan tipe suspensi yang memiliki proses pengendalian. Suspensi ini terbagi dua, yaitu suspensi *fully active* dan suspensi semiaktif berdasarkan bagaimana mekanisme pengendalian dilakukan (Keum-Shik Hong, 2002).

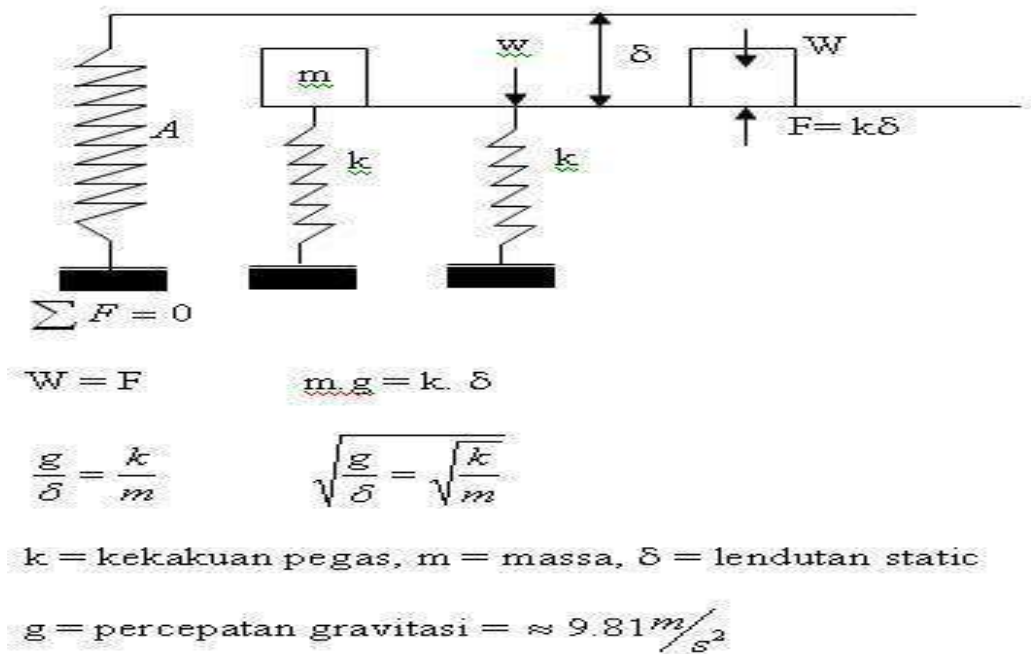


Gambar 2.4 (a) Model suspensi pasif (b) Model suspensi aktif
(c) Unit suspense (coil spring and shock absorber)

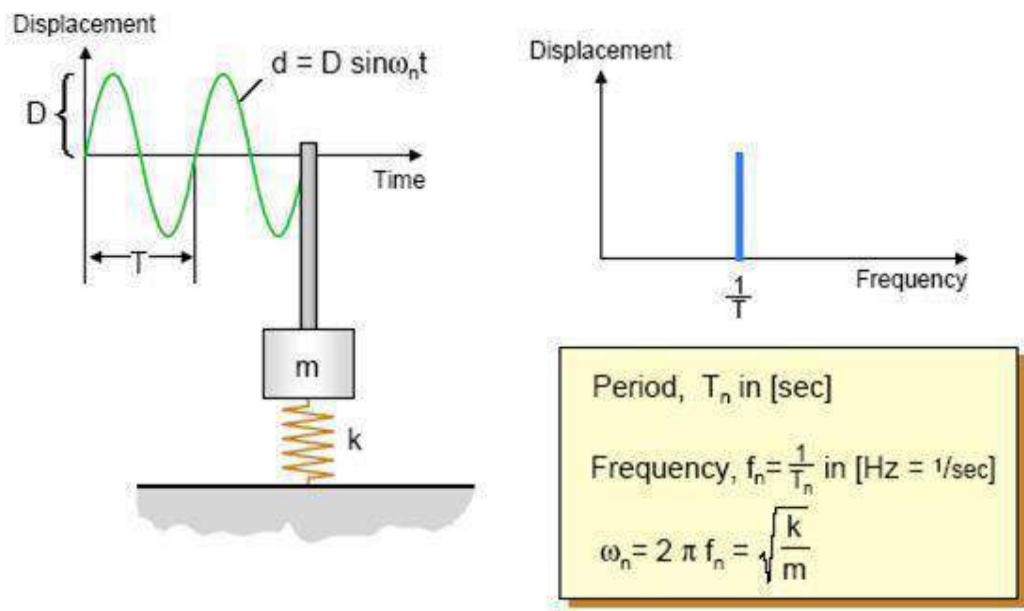
Pada sistem ini, dengan mengaplikasikan pengendali logika fuzzy diharapkan sistem dapat menghasilkan peredaman yang mampu mengkompromisasikan tingkat keamanan dan kenyamanan terbaik untuk setiap kondisi jalan yang dilalui. Posisi suspensi saat berosilasi (*up-down osilation*) dapat diketahui dengan menggunakan sensor jarak, sedangkan untuk mengetahui jarak perubahan posisi suspensi tersebut dapat digunakan alat “Potesnsiometer”. Hasil keluaran sensor berupa tegangan analog yang langsung dapat dihubungkan dengan rangakain ADC (*Analog to Digital Converter*).

Rangkaian pengubah sinyal analog ke data digital pada sistem ini menggunakan IC ADC 0804 dengan mode *free running* yang artinya ADC akan secara terus menerus mengkonversi nilai tegangan analog ke dalam data 8-bit digital. Proses ini terjadi sebanyak 1000 kali konversi setiap detiknya. Karena ADC dikondisikan pada mode *free running* maka diperlukan tombol *start* untuk memulainya berupa *pushbutton normaly open*.

Pegas apabila diberi beban akan mengalami perpendekkan/ lendutan, berdasarkan hukum aksi-reaksi, maka beban yang diberikan pada pegas sebanding dengan besarnya lendutan dikali dengan konstanta pegas.



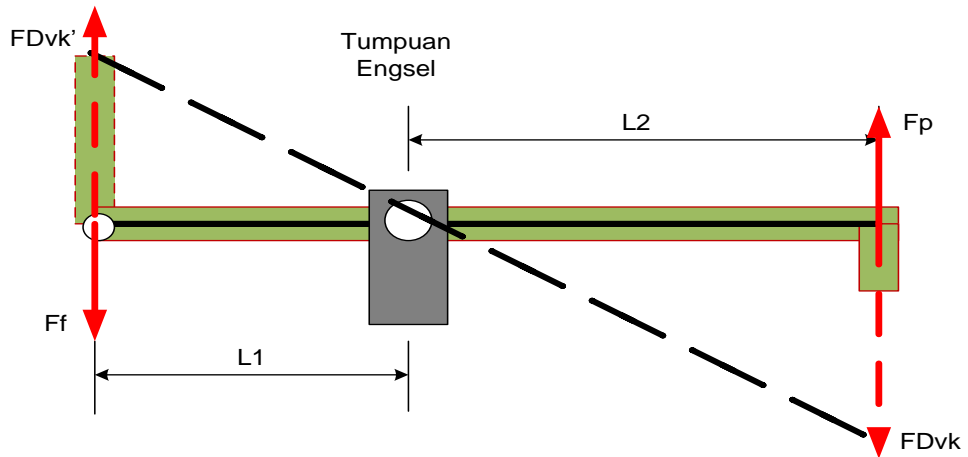
Gambar 2.5 Defleksi pegas suspensi yang mengalami beban



Gambar 2.6 Sistem frekwensi pegas suspensi

2.4. Momen Kopel

Prinsip kerja momen kopel terjadi pada mekanisme proses kerja beban dinamis vertical pada tumpuan engsel yang dilengkapi oleh pin sebagai penahan beban (Rehnberg, 2008, George H. Martin, 2009).



Gambar 2-7, Kinerja beban dinamis kendaraan sebagai pengungkit/ penggerak torak silinder Pneumatik.

Titik kerja gaya ungkit yang ditimbulkan oleh beban dinamis kendaraan adalah berada sejauh L_2 sedangkan gaya dorong (kompresi) pada silinder pneumatik titik kerjanya sejauh L_1 . Besarnya harga perbandingan antara L_1 dan L_2 pada persamaan (2-5) adalah ikut berpengaruh pada momen kopel yang akan bekerja pada torak silinder pneumatik (Finney, 2010, Simon Ka'ka, 2011).

$$\frac{L_1}{L_2} = 0.5 \quad (2-5)$$

Kesetimbangan momen kopel yang ditimbulkan oleh gaya dinamis vertikal kendaraan, $FD_{vk} - FD_{vk}'$ dan gaya normal $F_f - F_p$ adalah memenuhi prinsip-prinsip kesetimbangan gaya dan momen.

Persamaan kesetimbangan gaya dan momen oleh (Simon Ka'ka, 2011) melibatkan gaya berat torak dan batang penghubung F_w , gaya gesek F_f , gaya pegas F_p dan gaya dinamis vertikal kendaraan FD_{vk} serta lengan L_1 dan L_2 .

$$\sum F_V = 0 \quad \text{dan} \quad \sum M_V = 0$$

$$FD_{vk} - \mu(F_w + F_f) - F_p = 0 \quad (2-6)$$

$$(FD_{vk} - F_p) L_2 - \mu (F_w + F_f) L_1 = 0 \quad (2-7)$$

Jika koefisien gesek antara piston dan dinding silinder $\mu = 0.1$ dengan memperhatikan persamaan (2-5), maka persamaan (2-7) berubah menjadi:

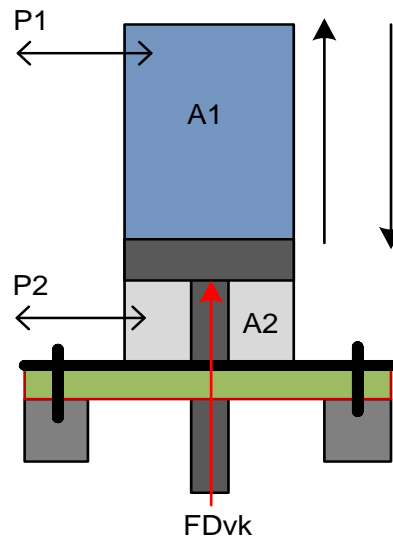
$$\{ (FD_{vk} - F_p) - 0.05 (F_w + F_f) \} L_2 = 0$$

atau persamaan beban dinamis kendaraan adalah:

$$FD_{vk} = F_p + 0.05(F_w + F_f) \quad (2-8)$$

2.5. Pengadaan Udara Bertekanan (Udara Mampat)

Produksi udara mampat yang akan didistribusikan ke dalam tangki penyimpanan selain tergantung pada gaya injeksi dinamis FD_{vk} dapat pula dipertimbangkan memakai sambungan reduser dari diameter 8 mm ke 4 mm (Simon Ka'ka, 2000).



Gambar 2-8, Proses Injeksi dan pemampatan udara

Proses pemampatan udara berdasarkan gambar 2-8 dilakukan pada ruang kompresi sebesar $A_1 = \frac{1}{4}\pi D^2$ dan $A_2 = \frac{1}{4}\pi(D^2 - d^2)$ m². Jika P_1 dan P_2 masing-masing tekanan udara yang diinjeksi pada langkah torak maju dan langkah torak mundur, maka Tekanan efektif P_{ef} yang dihasilkan adalah sebesar $P_1 - P_2$ (R.C. Weber, 2005) yang diformulasikan sebagai berikut:

$$P_{ef} = \frac{4F_{Dvk}}{\pi D^2} - \frac{4F_{Dvk}}{\pi(D^2 - d^2)} \quad (2-9)$$

Dimensi piston dan batang penghubung silinder pneumatik yang digunakan ditetapkan berdasarkan standar pabrikasi (Festo, 2011) sedangkan gaya dinamis vertikal kendaraan F_{Dvk} mengacu pada bobot/ massa kendaraan yang melintasi portal injeksi.

2.6. Karakteristik Udara Bertekanan

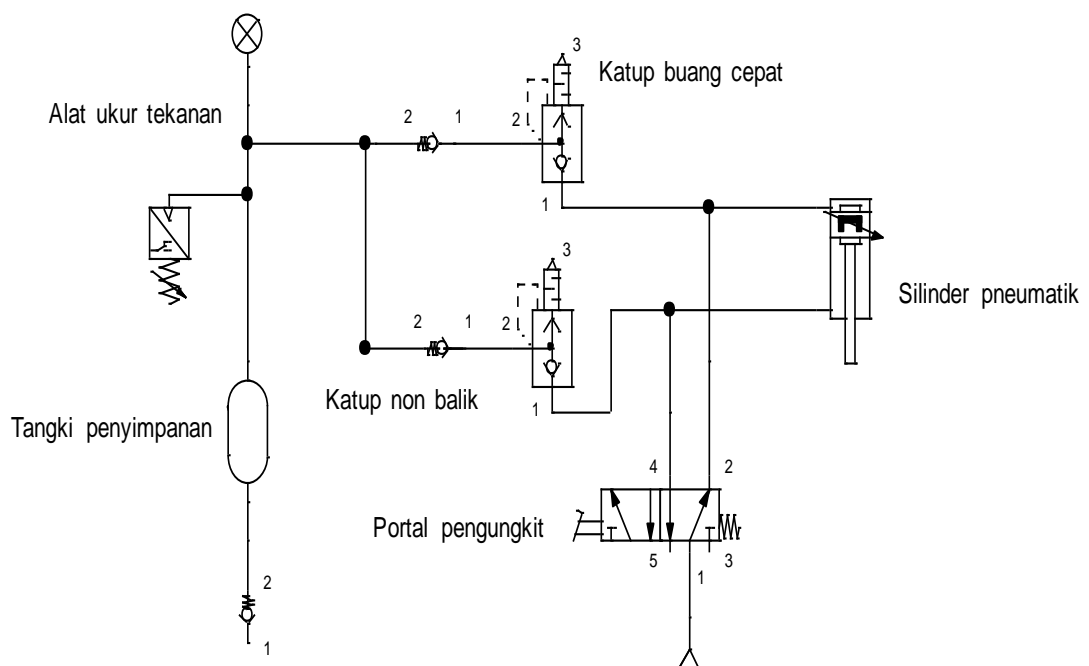
Sifat utama udara adalah kompresibel, sehingga udara luar yang tekanannya sebesar satu atmosfer, P_0 dengan volume V_0 dapat dimampatkan menjadi volume V_1 dan tekanan P_1 . Besarnya pemampatan volume V_0 menjadi V_1 menurut (Daisuke Hirooka*, 2009) adalah menyusut hingga tujuh kali, atau $V_0/V_1 = 7$. Kajian tentang hubungan antara diameter piston D dengan diameter lubang saluran d_i telah dilakukan studi pendahuluan (Simon Ka'ka, 2000) dalam bentuk persamaan (2-10).

$$d_i = 0.065713 D \quad (2-10)$$

Dimensi saluran udara yang akan digunakan adalah disesuaikan dengan dimensi piston silinder pneumatik yang dipilih.

2.7. Mekanisme Penyimpanan Udara Bertekanan

Proses penyimpanan udara dalam tangki penyimpanan dilakukan dengan menggunakan system pengecilan penampang (reducer) pada saluran udara dengan pengontrolan aliran udara berdasarkan Gambar 2-9.



Gambar 2-9 Rangkaian proses saluran injeksi udara ke tangki bertekanan

Katup non balik (check valve) yang digunakan pada rangkaian aliran udara bertekanan bermanfaat untuk mencegah aliran balik dari dalam tangki.

BAB 3

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Khusus

Kajian yang dilakukan terhadap beban dinamis vertikal kendaraan roda empat atau lebih adalah bertujuan khusus untuk:

1. Menggantikan penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) dengan Beban Dinamis Vertikal Kendaraan (BDvk) sebagai pembangkit energi terbarukan.
2. Menyimpan dan menyediakan energi proses secara cuma-uma bagi pelayanan masyarakat umum khususnya dalam bidang kegiatan service kendaraan, pengisian ban dengan udara bertekanan, dan lain-lain .
3. Menekan biaya investasi pengadaan alat bagi masyarakat yang ingin melakukan usaha perbengkelan perawatan kendaraan secara mandiri.

Upaya yang dilakukan untuk memanfaatkan energi gerak vertikal kendaraan sebagai pengganti BBM untuk menghasilkan energi bertekanan (pressure energy) adalah merupakan bagian inovasi kreatif yang bertujuan untuk melakukan pengembangan teknologi secara efektif dan efisiensi.

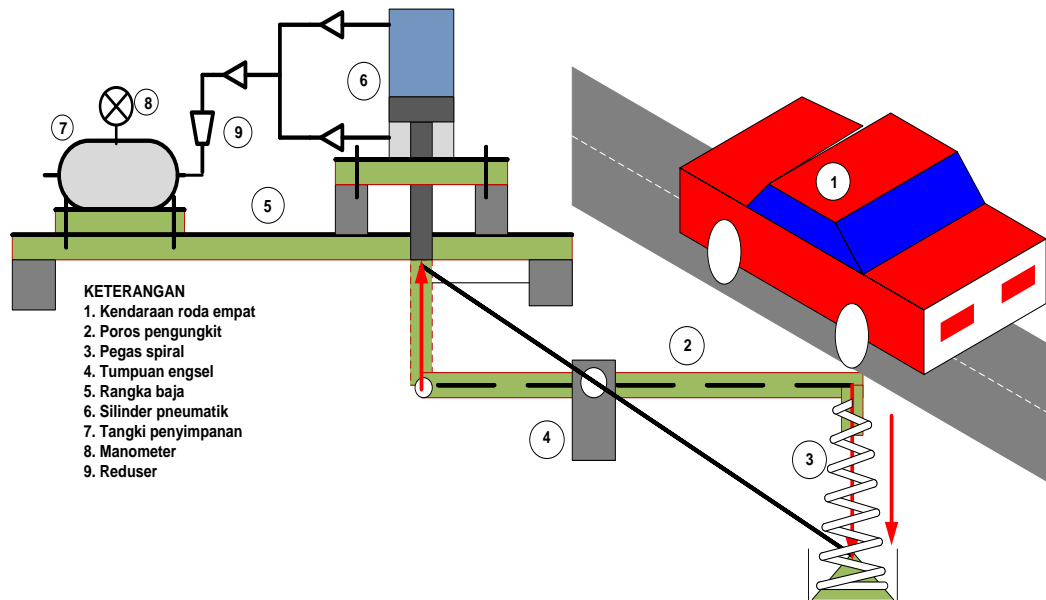
Energi terbarukan yang diproses melalui teknologi pemampatan udara ke dalam tangki penyimpanan oleh silinder pneumatik melalui pijakan roda kendaraan akan tersedia secara terus-menerus tanpa mengeluarkan biaya pemrosesan.

Kondisi yang ada saat ini adalah masih dimanfaatkannya kompresor torak dengan menggunakan BBM sebagai proses penghasil energi berupa udara mampat. Udara yang bertekanan ini harus selalu tersedia setiap saat dalam tangki untuk dipakai sebagai penunjang kegiatan utama bagi pengusaha mandiri seperti usaha perbengkelan, tambal ban, tambah angin dan sebagainya. Dengan termanfaatkannya energy dinamis dari kendaraan tersebut menggantikan peran BBM, maka akan diharapkan dapat menekan biaya operasional kegiatan usaha perawatan dan perbaikan kendaraan secara signifikan.

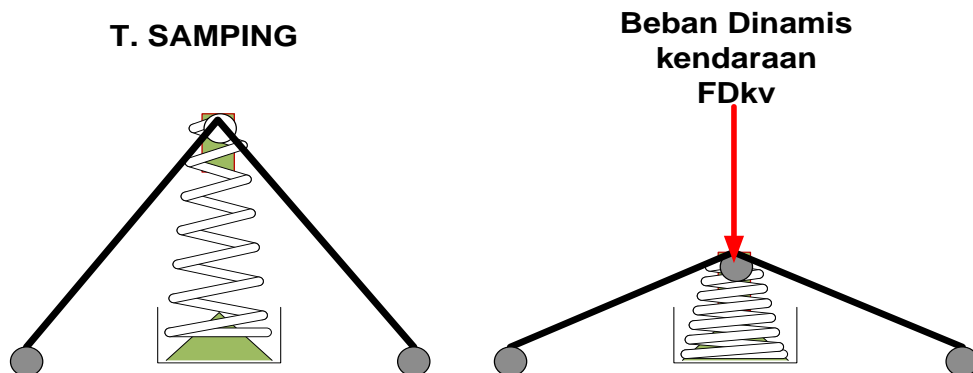
3.2. Manfaat Penelitian

Penelitian yang berorientasi pada asas manfaat dari gerakan dinamis kendaraan roda empat atau lebih tersebut memiliki beberapa sasaran atau target yang utama untuk dikaji antara laian:

1. Gaya dorong pada piston yang diperoleh dari Beban dinamis kendaraan
2. Kerja kopel sistem pemompaan pada silinder kerja pneumatik
3. Volume udara mampat masuk ke tangki penyimpanan
4. Kenaikan tekanan udara mengalir ke dalam tangki pada setiap injeksi
5. Bobot kendaraan yang melintasi jalan
6. Kerja Pegas



Gambar 3.1, Mekanisme Penyimpanan Energi dari Beban Dinamik Kendaraan



Gambar 3.2, Aksi Beban Dinamis Vertikal Kendaraan Terhadap Pegas

Target temuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah “Energi Terbarukan” berupa udara bertekanan (udara mampat) yang disimpan dalam tabung/tangki untuk selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai usaha melayani untuk perawatan

kendaraan di pinggir jalan. Proses penyimpanan energi ini dilakukan dengan cara menginjeksi udara mampat dari pergerakan torak silinder pneumatik.

Gaya gerak pada torak silinder tersebut diperoleh dari besarnya beban dinamis vertikal kendaraan roda empat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.1.

Dengan prinsip kerja momen kopel, maka gaya injeksi dapat dipindahkan ke ujung batang penghubung torak silinder pneumatik selanjutnya menekan udara mampat masuk ke dalam tangki penyimpanan (storage tank).

Besarnya volume udara mampat yang masuk ke dalam tangki adalah sangat ditentukan dari dimensi silinder yang digunakan dan kemampuan gaya injeksi yang mendorong torak/ piston maju mundur. Besarnya gaya injeksi dari piston dapat berubah-ubah dan sangat tergantung pada besar kecilnya bobot dinamis kendaraan yang melintas di atas pedal baja fleksibel. Perbandingan antara volume udara atmosfer V_0 dan volume udara terkompresi/termampatkan V_1 menurut (Festo, 2011) adalah 7 : 1.

Kenaikan tekanan yang masuk ke dalam tangki penyimpanan dapat diukur menggunakan manometer yang terpasang pada saluran udara keluar silinder pneumatik. Besarnya tekanan udara yang dihasilkan oleh silinder Pneumatik adalah diperoleh dari tekanan P_1 (bar) pada ruang kompresi A_1 dan tekanan P_2 (bar) pada ruang kompresi A_2 .

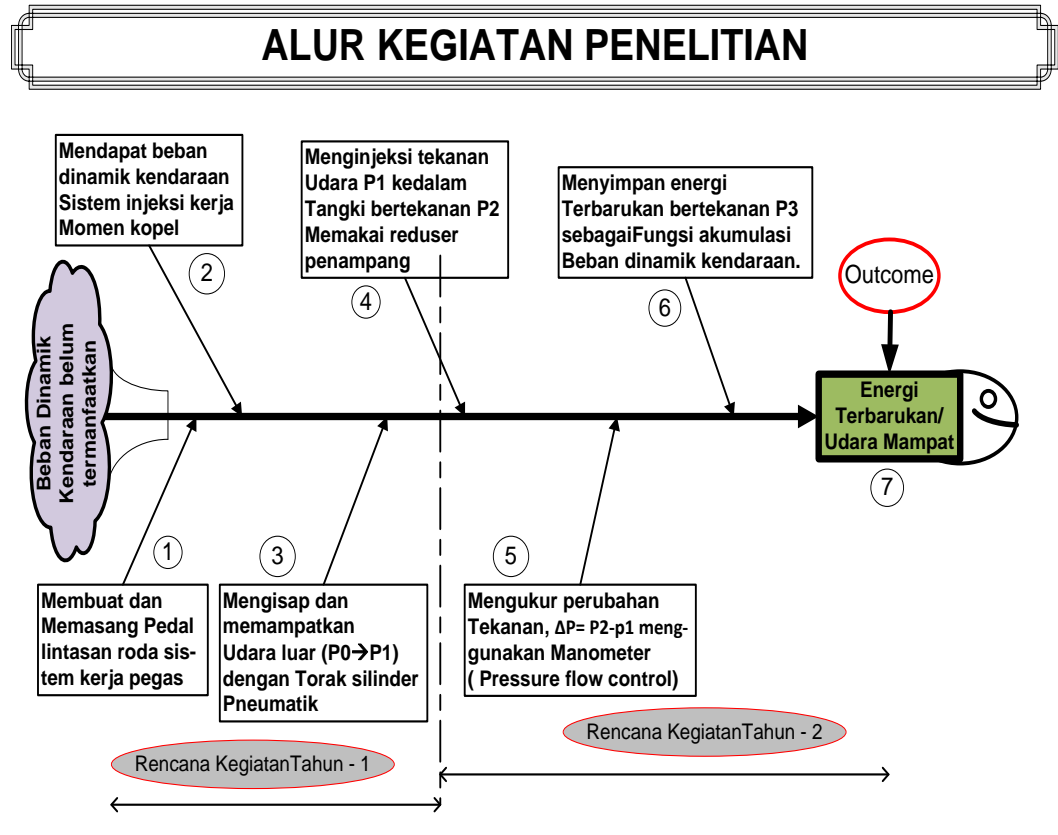
Aksi beban dinamis dari kendaraan yang melintas di atas portal fleksibel akan memberikan gaya aksi terhadap pegas spiral, bobot piston/ batang penghubung dan gesekan antara seal piston dan dinding silinder. Pada bagian ini berlaku hukum Newton aksi-reaksi yang perlu diperhitungkan untuk memperoleh beban dinamis vertikal efektif yang sesungguhnya. Kajian bobot kendaraan yang melintasi jalan dilakukan dengan memperhitungkan data-data sekunder seperti bobot kosong (idle weight), bobot dengan beban penumpang atau barang.

Gaya aksi beban dinamis vertikal F_{Dkv} sebelum melakukan momen kopel pada pusat tumpuan engsel, mula-mula akan mendapat gaya reaksi dari pegas sebesar F_p (N) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.2. Akibat timbulnya perlawanan dari gaya reaksi pegas, maka akan mengurangi kerja beban dinamis vertikal kendaraan terhadap gaya gesek, F_f (N) pergerakan piston dan batang penghubung silinder pneumatik maju-mundur atau naik-turun. Untuk meningkatkan kerja beban dinamis dari kendaraan, maka lengan batang pengungkit L_2 dibuat lebih panjang daripada lengan L_1 , ($L_2 > L_1$).

BAB 4 METODE PENELITIAN

4.1. Alur Kegiatan Penelitian

Kegiatan eksperimen dan alur pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan adalah seperti yang diuraikan pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1, Rencana Kegiatan dan Alur Penelitian

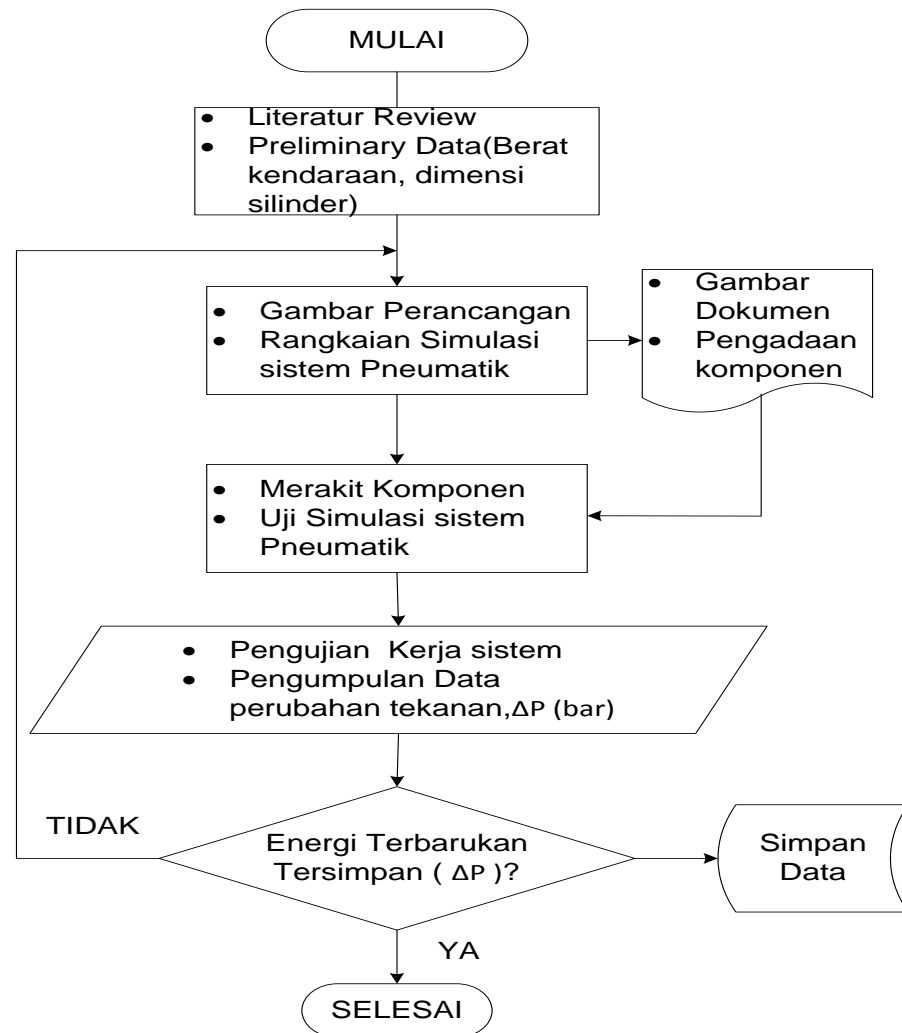
Rencana kegiatan penelitian pada tahun pertama meliputi empat item kegiatan (item 1 sampai 4) dan pada tahun kedua terdiri atas tiga item kegiatan utama (item 4 sampai 7) yang kaitan keseluruhannya menggambarkan diagram tulang ikan (Fish bond diagram).

Target kegiatan-kegiatan teknik yang akan dilakukan pada tahun pertama termasuk merancang model dan membuat pedal lintasan roda, poros aktuator pneumatik, Rangka baja dudukan silinder dan tabung, serta sebahagian kegiatan merakit (Assembling) komponen. Pada tahun kedua selain melanjutkan rakitan, pengujian kinerja system dilakukan dengan

menjalankan roda kendaraan melintasi pedal sambil mencatat waktu dan perubahan tekanan masuk tangki penampungan.

4.2. Bagan Penelitian

Gambaran tentang tahapan-tahapan kegiatan penelitian yang akan dilakukan secara terpadu dari awal hingga selesai adalah seluruhnya ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4-2, Bagan Alir Penelitian

4.3. Proses Penelitian

Tahapan penelitian yang dimulai dengan Literatur review dan preliminary data adalah penting untuk menjadi sumber inspirasi baru, mengkaji hal-hal yang sudah dan yang belum diteliti, serta memikirkan pengembangan sistem yang lebih inovatif dan berdayaguna.

Preliminary data yang berhubungan erat dengan rencana yang akan diteliti seperti dimensi, berat dan tipe kendaraan sebagai data awal penelitian. Data-data lain yang bersumber dari referensi jurnal atau hasil penelitian sebelumnya juga sangat bermanfaat untuk mendukung pelaksanaan penelitian selanjutnya.

Desain gambar dan perancangan rangkaian sistem kontrol pneumatik dapat disimpan sebagai dokumen untuk selanjutnya dijadikan sebagai acuan untuk merakit komponen dan mensimulasikan gerakan sistem yang telah dirancang. Proses selanjutnya adalah pengujian kerja sistem dan pengumpulan data. Pada tahapan ini pengujian dilakukan dengan cara menggelindingkan roda/ban kendaraan di atas pedal portal, kemudian mengungkit/mendorong piston silinder pneumatik bergerak naik-turun. Dalam keadaan yang demikian udara dimampatkan dan diinjeksikan ke dalam tangki penyimpanan yang bertekanan.

Jumlah udara bertekanan yang tersimpan didalam tangki dapat diperoleh dengan memasang Manometer atau alat ukur yang mendeteksi adanya pertambahan tekanan (ΔP , bar) yang terinjeksi dan tersimpan dalam tangki.

4.4. Luaran Penelitian

Sebagai tindak lanjut dari proses pengujian kinerja dari sistem yang dibangun dan data yang diperoleh, maka melalui tahapan analisis dan pembahasan diharapkan akan diperoleh luaran penelitian berupa *Model Penyimpanan Energi Terbarukan dalam bentuk udara bertekanan, P (bar)*. Akumulasi dari adanya pertambahan tekanan ΔP (bar) yang dihasilkan adalah berbanding langsung dengan sejumlah arus kendaraan roda empat yang melintas. Tambahan luaran yang diharapkan dari penelitian ini adalah berupa publikasi dalam jurnal Nasional/Internasional, HKI atau Bahan Ajar bagi mahasiswa serta mengikuti kegiatan seminar atau konferensi baik di tingkat Nasional maupun Internasional.

Dampak sosial ekonomi yang diperoleh dari penelitian ini adalah penghematan dan efisiensi biaya, seperti energi bahan bakar minyak(BBM) untuk mengoperasikan kompresor, tidak diperlukan lagi tetapi sudah

digantikan oleh beban dinamik kendaraan yang diperoleh secara cuma-cuma.

4.5. Tempat Pelaksanaan

Kegiatan pelaksanaan penelitian ini seluruhnya dilakukan di kampus Politeknik Negeri Ujung Pandang yang didukung oleh sarana dan prasarana yang ada sebagai berikut:

1. Laboratorium CNC, untuk melakukan pengerjaan permesinan berupa pembuatan komponen poros pengungkit, sambungan, dudukan engsel, pin dan sebagainya.
2. Laboratorium Pneumatik/Hidrolik, Elektropneumatik, PLC, dan Mekatronika untuk membuat disain rangkaian kontrol dan simulasi gerakan menggunakan software Fluid Sim.
3. Workshop/Bengkel Las, untuk melakukan kegiatan penyambungan komponen-komponen batang menjadi satu kesatuan rangka sistem mekanik.
4. Laboratorium Multimedia, untuk melakukan kegiatan disain gambar prototipe sistem lengkap dengan dokumen gambar komponen yang diperlukan.
5. Workshop/ Bengkel Mekanik, untuk melakukan pekerjaan pelat dan pengerolan pelat tangki penyimpanan udara mampat.

4.6. Indikator Capaian

Keberhasilan penelitian ini ditentukan oleh indikator-indikator capaian yang diperoleh seperti:

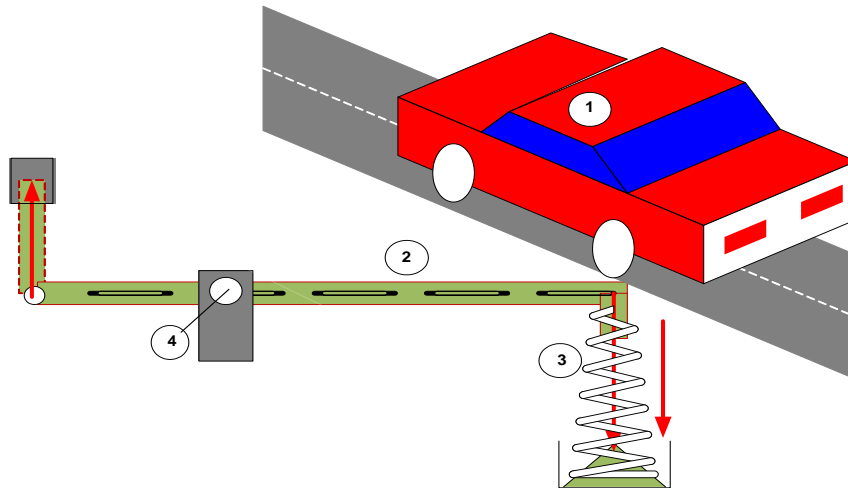
1. Beban dinamis vertikal kendaraan yang menggelinding di atas pedal injektor mampu menggerakkan piston silinder pneumatik naik-turun untuk menginjeksi udara mampat masuk tangki penyimpanan.
2. Adanya pertambahan tekanan udara mampat, ΔP (bar) yang terbaca melalui alat ukur tekanan (Manometer) masuk ke dalam tangki penyimpanan
3. Terdapatnya kenaikan tekanan udara mampat terus-menerus terukur seiring dengan meningkatnya frekuensi kendaraan roda empat yang melintas.

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sejumlah kegiatan penelitian yang berhasil dicapai dalam tahun 2016 sebagai kegiatan penelitian tahun pertama antara lain:

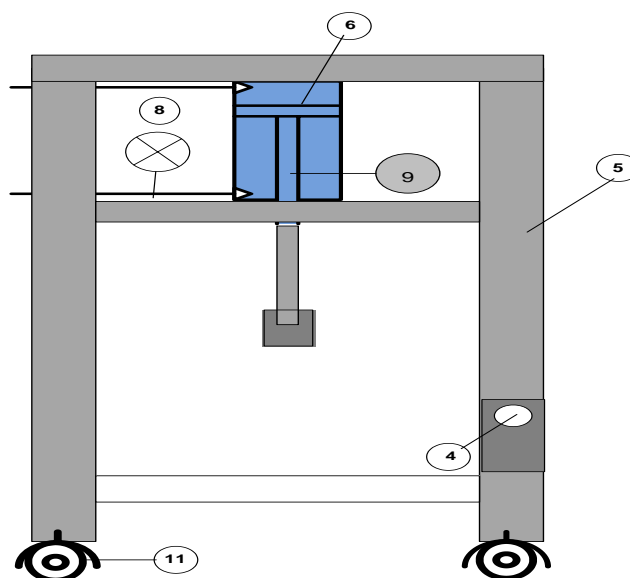
5.1. Mekanisme Penggerak Piston Silinder



Gambar 5.1, Batang aktuasi piston

Beban dinamis dari kendaraan (1) yang melintas di atas pegas portal (3) membebani batang poros injeksi (2) dengan tumpuan engsel (4) menghasilkan gaya injeksi naik dan turun berdasarkan bobot/massa, m (kg) kendaraan dan gaya balik pegas, F_p (N).

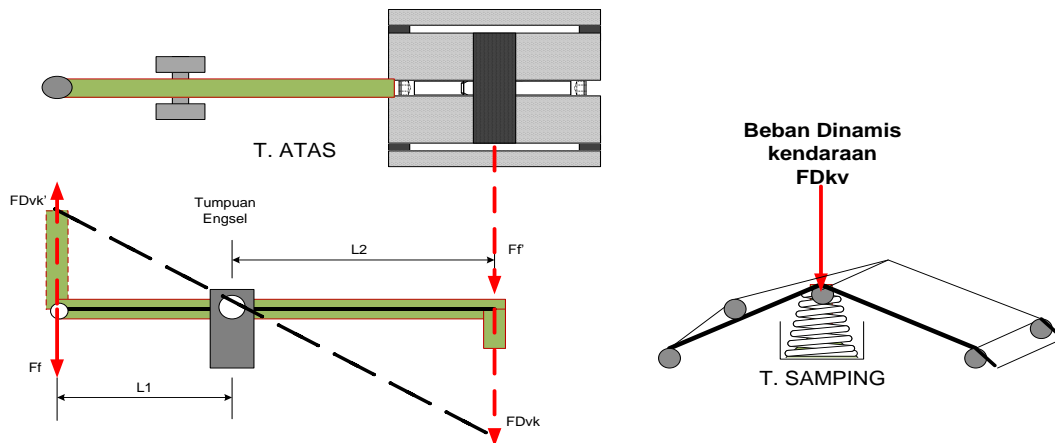
5.2. Disain Rangka Dudukan Silinder



Gambar 5.2, Bentuk rangka dudukan silinder pneumatik

Bentuk konstruksi rangka dudukan silinder seperti pada gambar 5.2 difungsikan sebagai dudukan silinder pneumatic dengan spesifikasi: DNU-100-300-PPV dengan diameter piston $D=100$ mm dan diameter batang torak $d=25$ mm dengan panjang langkah $L=300$ mm.

5.3. Portal Injeksi

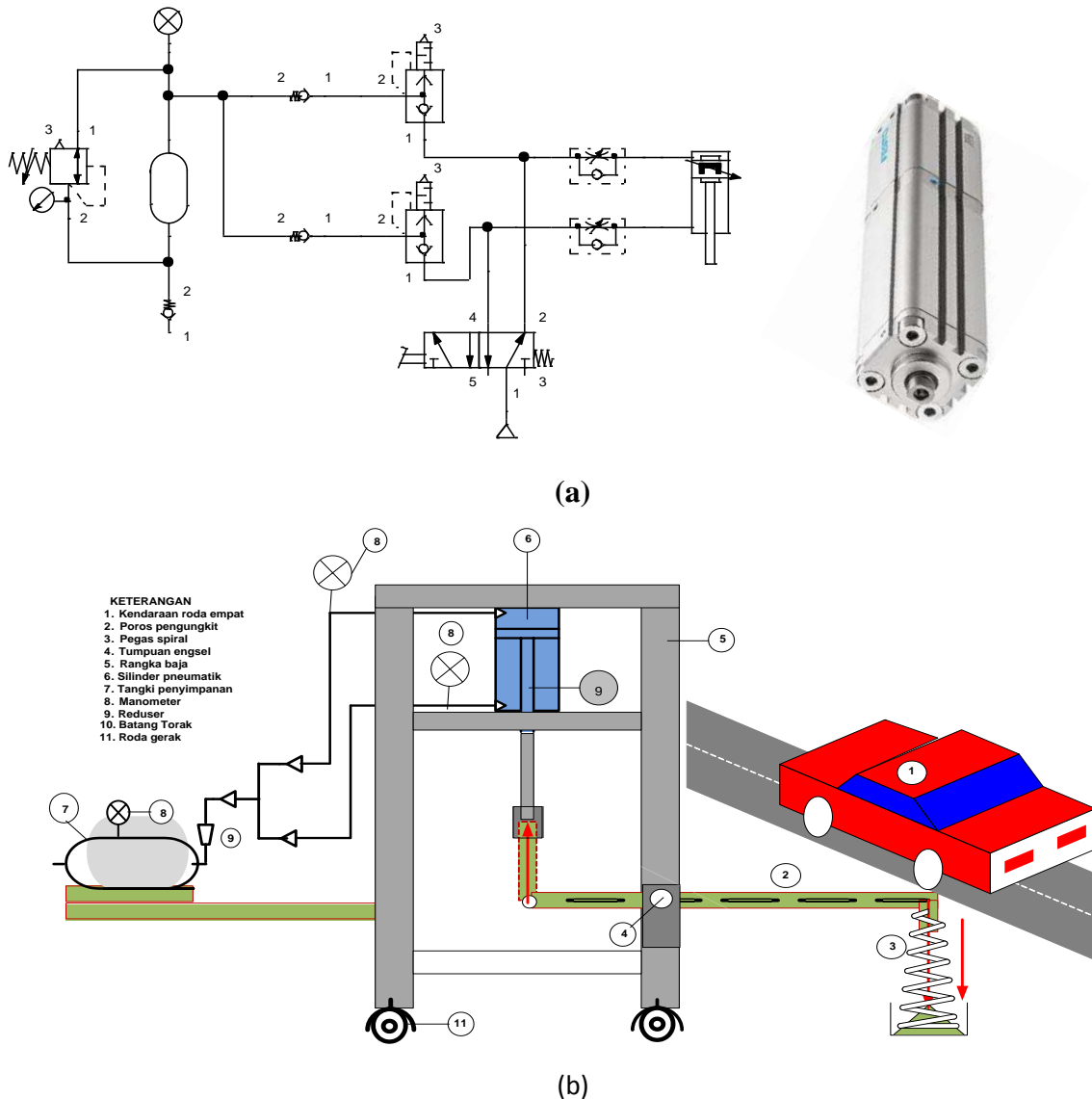


Gambar 5.3, Disain portal dan kerja beban dinamis kendaraan

Beban dinamis vertikal kendaraan $FDvk$ yang ditransformasikan melalui roda kendaraan yang ditunjukkan pada gambar 5.3 dengan jarak lengan $L1=50$ cm dan $L2=100$ cm akan mendorong piston dan batang torak ke ruang silinder bergerak ke atas yang menghasilkan tekanan injeksi $P1$ (bar). Besarnya gaya balik pegas akan menarik piston bergerak turun dan menghasilkan tekanan injeksi $P2$ (bar).

5.4. Rangkaian Penyimpanan Energi

Gambar 5.4 (a) merupakan mekanisme rangkaian aliran udara bertekanan ke dalam tangki bertekanan yang diperoleh dari rangkaian komponen-komponen yang terdapat pada gambar 5.4 (b).



**Gambar 5.4 (a) Rangkaian pengisian tangki udara bertekanan
(b) Mekanisme keseluruhan proses penyimpanan energi**

5.5. Pengujian dan Pengumpulan Data

Bentuk pengujian yang dilakukan terhadap alat yang telah dirancang dan dibuat adalah dengan cara menempatkan portal pelat baja pada jalur jalan yang dilewati kendaraan. Kinerja dan keberhasilan alat diuji tersebut dapat ditinjau dari berfungsinya poros ungkit untuk menggerakkan batang penghubung dan piston naik dan turun dalam tabung silinder pneumatik.

Pengumpulan data penelitian dilakukan dengan cara mencatat secara langsung besarnya tekanan udara yang terinjeksi masuk ke dalam tangki penyimpanan. Tekanan yang dihasilkan melalui proses kompresi pada ruang silinder di depan piston dinyatakan

sebagai P_1 (bar) sementara udara yang terkompresi di bagian belakang piston dinyatakan sebagai P_2 (bar). Besarnya tekanan yang terukur melalui P_1 (bar) dan P_2 (bar) adalah bervariasi berdasarkan besarnya beban dinamis dari setiap jenis kendaraan yang melintas mengaktuasi posros pengungkit. Tabel 5.1 menunjukkan proses pengumpulan data tekanan udara yang diperoleh dari berbagai jenis kendaraan.

Tabel 5.1 Pengumpulan data tekanan udara hasil pengujian.

Data Kendaraan ^{*)}		Hasil Pengujian	
Jenis kendaraan	Bobot total m (kg)	Kenaikan tekanan ΔP (bar)	Waktu rerata (sec)
Terios	2000	0,3	2
		0.4	3
		0.5	3
Gran Max			
- Pick up: 1.3-15	1950-2100	0,25 - 0,55	3
- Box: 1.3-1.5	1950-2100	0,25 - 0,55	3,5
- Blind Van	2000	0,3 – 0,5	3
- Mini bus	1840	0,3	3
Luxio	1850	0,3	3
		0,4	

*) Sumber: PT. Astra Internasional Daihatsu Motor

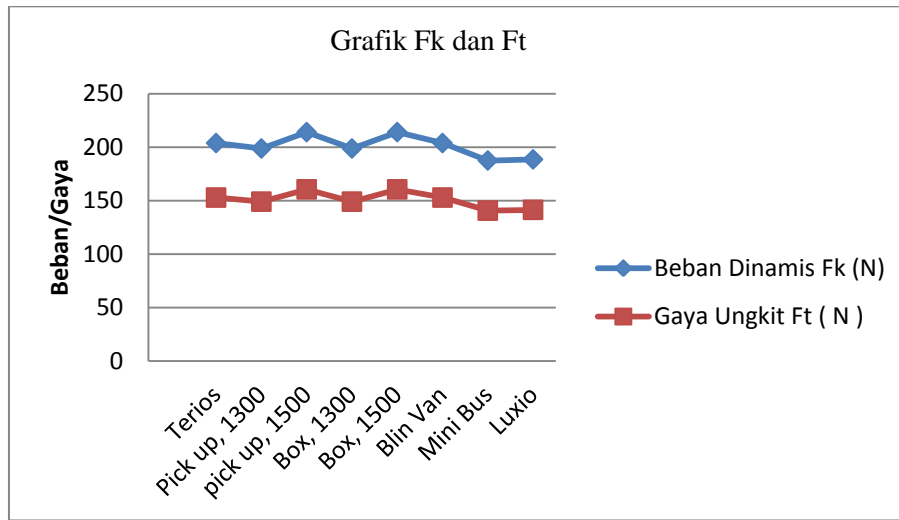
5.6. Beban Dinamis dan Gaya Ungkit pada Silinder Pneumatik

Berdasarkan data berat kendaraan yang terdapat dalam Tabel 5.1 di atas maka dengan menggunakan persamaan (2.8) dan (2-9) maka besarnya beban dinamis kendaraan $FDvk$ (N) dan gaya pengungkit Ft (N) yang menghasilkan perubahan tekanan kerja masuk ke dalam tangki bertekanan dapat dilihat dalam Tabel 5.2 berikut:

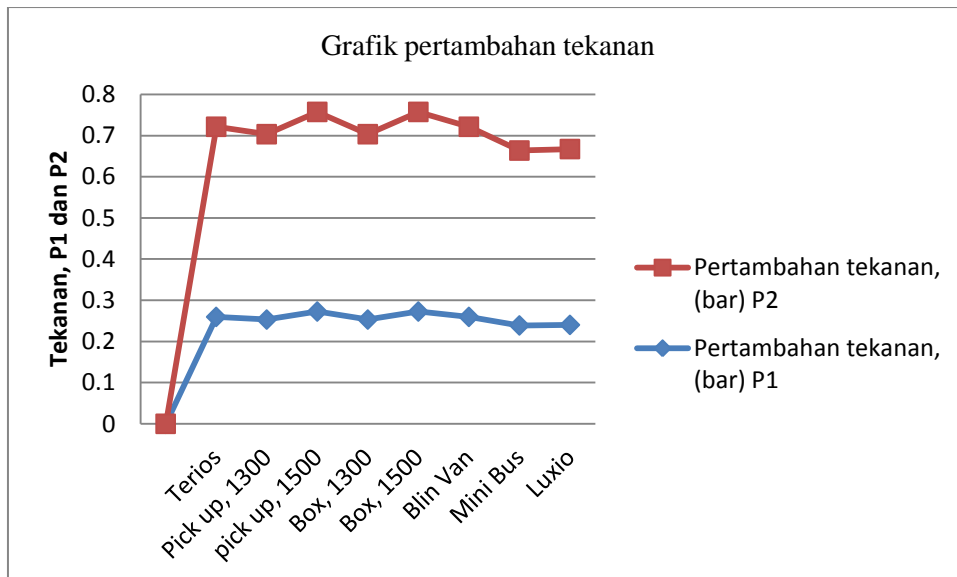
Tabel 5.2, Hubungan beban dinamis dan gaya ungkit pada silinder pneumatik

Bobot total kendaraan m, (kg)	Beban Dinamis FDvk (N)	Gaya Ungkit Ft (N)	Tekanan injeksi pada ruang Silinder Pneumatik (N/m ²)	
			P1	P2
2000	203.87	152.91	25971.46	46171.25
1950	198.78	149.08	25322.17	45016.97
2100	214.07	160.55	27270.03	48479.82
1950	198.78	149.08	25322.17	45016.97
2100	214.07	160.55	27270.03	48479.82
2000	203.87	152.91	25971.46	46171.25
1840	187.56	140.67	23893.74	42477.55
1850	188.58	141.44	24023.60	42708.41

Beban dinamis kendaraan dan gaya ungkit maksimal menurut grafik pada gambar 5.5 adalah masing-masing diperoleh sebesar 214.78 N dan 160.55 N.



(a)



(b)

Gambar 5.5 (a) Hubungan Beban dinamis, gaya ungkit dan jenis kendaraan

(b) Hubungan pertambahan tekanan dan jenis kendaraan

Pertambahan tekanan P1 dan P2 masuk ke dalam tangki penampungan adalah berkisar antara 0,24 (bar) sampai 0,27 (bar) untuk gerakan torak maju dan antara 0,42 (bar) sampai 0,48 (bar) untuk gerakan torak mundur.

Untuk memperoleh tekanan kerja 4 bar sampai 8 bar dari udara betekanan maka diperlukan paling sedikit frekuensi beban dinamis dari kendaraan mobil berkisar mulai 20 sampai 40 kali.

5.7. Kemajuan Kegiatan Penelitian

Sejumlah pengadaan komponen dan kegiatan penelitian selama tahun 2016 dapat dijelaskan dalam tabel 5.3 berikut:

Tabel 5.3, Keadaan pelaksanaan fisik penelitian tahun 2016

No.	Kegiatan Penelitian	Justifikasi	Persentase (%)
1	Disain/pembuatan rangka baja	Dudukan silinder	100
2	Pembuatan poros pengungkit dan tumpuan	Penggerak piston +/-	100
3	Pengadaan dan pemasangan pegas	Penggerak piston	80
4	Pengadaan dan pemasangan silinder	Penghasil udara mampat	100
5	Pengadaan/pembuatan tangki	Penyimpanan energi	100
6	Pengadaan manometer	Alat ukur tekanan udara	60
7	Pengadaan katup check	Alat kontrol aliran udara	85
8	Pengadaan sambungan/konektor	Saluran udara	85
9	Reduser dan roda	Saluran dan penggerak	80
10	Merakit komponen	Menguji kinerja alat	90

Beberapa kegiatan penting terkait dengan pelaksanaan penelitian masih memerlukan pembenahan-pembenahan, namun kegiatan pengujian terhadap gerakan injeksi sudah dapat dilakukan.

BAB 6

RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

6.1 Rencana Kegiatan Penelitian

Beberapa komponen kegiatan penelitian termasuk merakit komponen, Pengujian dan pengumpulan data belum sepenuhnya terlaksana dalam tahun 2016, sehingga direncanakan untuk dilanjutkan pada tahun 2017.

6.2 Jadwal Penelitian

Tabel 6.1 Jadwal pelaksanaan penelitian

No.	Jenis Kegiatan	Tahun I, 2016												Tahun II, 2017											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Literatur re-view dan preliminary data																								
2	Gambar disain dan pengadaan komponen																								
3	Merakit komponen																								
4	Laporan Kemajuan																								
5	Pengujian dan pengumpulan data																								
6	Analisis dan Pembahasan																								
7	Laporan Hasil																								
8	Seminar Nasional																								
9	Publikasi jurnal																								

Sesuai dengan jadwal pelaksanaan yang terdapat pada Tabel 6.1 menunjukkan bahwa masih sangat perlu untuk melanjutkan pengujian kinerja dari alat uji yang sudah didesain dan dirakit agar dapat dilakukan beberapa penyempurnaan yang dianggap perlu.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh melalui pengujian beban dinamis kendaraan dan analisis terhadap hasil desain yang telah dibuat, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Besarnya kenaikan tekanan udara yang diperoleh melalui proses injeksi silinder pneumatik adalah berkisar mulai 0,3 sampai 0,5 bar. Semakin besar beban dinamis dari kendaraan semakin tinggi pula kenaikan tekanan udara masuk ke dalam tangki penyimpanan udara bertekanan.
2. Energi terbarukan yang diperoleh dari mekanisme injeksi sistem pneumatik adalah lebih mengacu pada tidak digunakannya energi listrik, bahan bakar minyak dan biaya pengadaan kompresor untuk menghasilkan udara bertekanan

7.2 Saran

Untuk mendapatkan tekanan udara yang optimum masuk ke dalam tangki penyimpanan maka konstruksi portal harus kuat dan bekerja dengan baik agar tidak menghalangi arus kendaraan. Frekuensi injeksi oleh beban dinamis dari kendaraan harus berulang terus menerus untuk meningkatkan tekanan udara masuk ke dalam tangki penyimpanan. Untuk mengatasi terjadinya tekanan lebih perlu dipasang katup pengatur tekanan pada sistem injeksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro Aristianto, S., S.T, M.T, Darjat, S.T, M.T. 2012. *Aplikasi Fuzzy Logic Control Pada Sistem Suspensi Semi-Aktif Model Kendaraan Seperempat*. Universitas Diponegoro.
- Daisuke Hirooka, K.S., Takefumi Kanda, 2009. Flow control valve for pneumatic actuators using particle excitation by PZT vibrator. *Sensors and Actuators A: Physical Journals*, A 155, 285–289.
- Festo, A. 2011. Trends in Automation. *The Festo Customer Magazine, Germany*, 2.
- Finney, E. A. 2010. Dynamic Aspect Of Vehicle Size and Weight. 23.
- George H. Martin (ed.) 2009. *Kinematika dan Dinamika Teknik*, Jakarta: Erlangga.
- R.C. Weber, W. H., U. Metzger (ed.) 2005. *Basic Level Pneumatic Technology, TP 101*, Eshlingen, Germany: Festo Didactic.
- Rehnberg, A. 2008. Vehicle dynamic analysis of wheel loaders with suspended axles. *Tritave*, 15.
- Siahaan, I. H. 2014. Analisa Gaya Pada Roda Kendaraan Pada Berbagai Kecepatan Kendaraan. *Jurnal Teknologi*, vol. 7.
- Simon Ka'ka. 2000. *Kajian Dimensi Saluran Distribusi Udara pada Silinder Pneumatik*. S2, Universitas Hasanuddin.
- Simon Ka'ka, A. P. 2011. Analisis Desain Pengisian Tangki Udara Bertekanan Dengan Sistem Injeksi Silinder Pneumatik. 38.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

- ☞ **Lampiran 1: Instrumen Penelitian**
- ☞ **Lampiran 2: Personalia Tenaga Pelaksana
Beserta Kualifikasinya**
- ☞ **Lampiran 3, HKI dan Publikasi**
 - 3.1. Hak Kekayaan Intelektual**
 - 3.2. Publikasi Jurnal (Draft)**

Lampiran 1. Instrumen Penelitian

Tabel L-1, Jenis dan model instrument penelitian

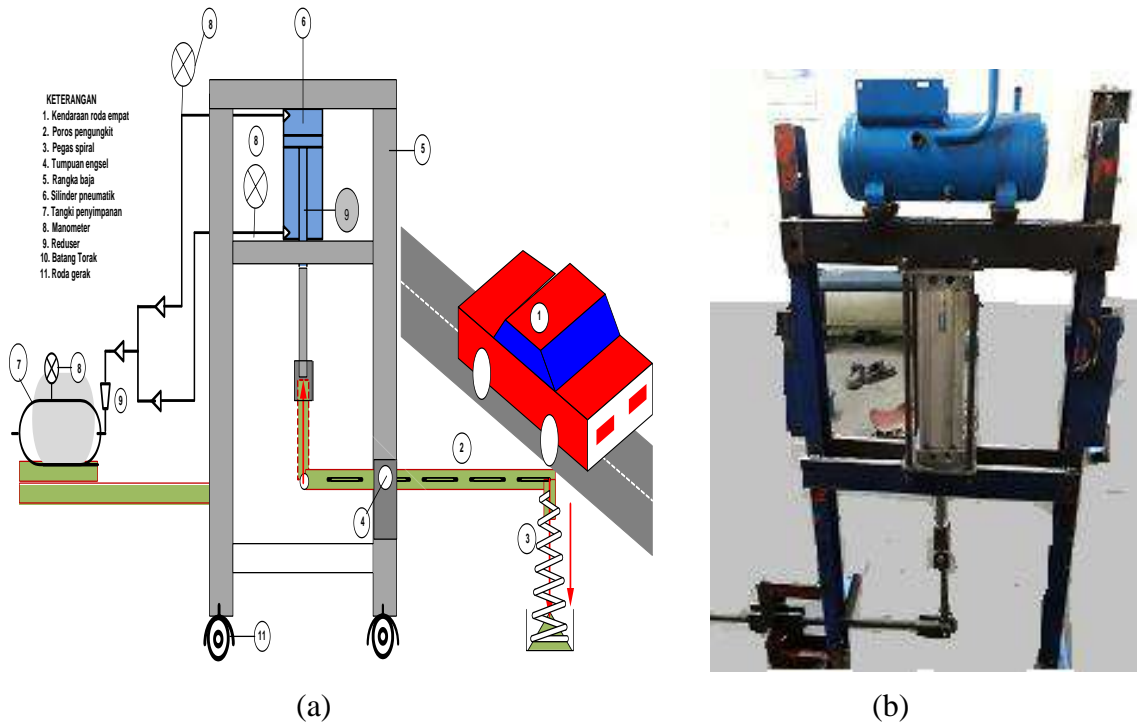
Instrumen	Model	Spesifikasi	Justifikasi
Kendaraan		442 x 174.5 x 174 Jarak sb roda: 288.5 Bobot:(1850 – 2000) kg	Kategori sedang
Silinder Pneumatik		DNU-100-300-PPV D = 100 mm L = 300 mm	Menginjeksi udara ke dalam tangki
Tangki udara		Vol. = 8 liter D = 160 mm L = 400 mm	Menyimpan udara bertekanan
Manometer Analog		P maks. = 10 bar	Mengukur tekanan udara dalam tangki
Manometer Digital		P maks. = 10 bar	Mengukur tekanan udara masuk tangki
Check Valve		Kapasitas, Q =108 l/min	Mengontrol aliran yang searah

Lampiran 2. Personalia Tenaga Peneliti Beserta Kualifikasinya

No.	Nama	Jabatan	Bidang Keahlian	Kualifikasi	Alokasi Waktu (jam/minggu)
1	Ir. Simon Ka'ka, M.T.	Ketua	Disain Teknologi kontrol Pneumatik dan Hidrolik	Magister (S2)	10
2	Ir. Remigius Tandioga, M.Eng.Sc.	Anggota 1	Disain Sistem Tek. Perancangan dan Industri	Magister (S2)	8
3	Abram Tangkemanda, S.T., M.T.	Anggota 2	Disain Sistem Pengelasan dan permesinan	Magister (S2)	8

Lampiran 3, HKI dan Publikasi

3.1. Hak Kekayaan Intelektual (HKI)



Gambar 3.1-L (a) Desain proses penyimpanan energy terbarukan
(b) Bentuk luaran produk penelitian

3.2. Publikasi: Draft Jurnal

MANFAAT BEBAN DINAMIS KENDARAAN RODA EMPAT SEBAGAI PENGHASIL ENERGI TERBARUKAN PENGGANTI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM)

Simon Ka'ka,¹⁾ Remigius Tandioga,²⁾ Abram Tangkemanda,³⁾

¹⁾ Program studi Mekatronika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang
kakasimon@gmail.com

²⁾ Program studi Mekatronika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang
remigius_tandioga@gmail.com

³⁾ Program studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang
Abram.tangkemanda@yahoo.com

Abstract

Tujuan jangka panjang penelitian ini adalah untuk mengatasi krisis energi fosil melalui usaha pengurangan penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM). Target khusus yang ingin dicapai adalah mengkonversi beban dinamis vertikal kendaraan roda empat menjadi energi terbarukan yang dapat dipakai sebagai cadangan energi. Target tersebut dapat dicapai dengan metode substitusi yakni menggantikan pemakaian energi bahan bakar minyak dengan beban dinamis berulang kendaraan yang sedang melintas di jalan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengisap dan menginjeksikan udara luar ke dalam tangki penyimpanan menggunakan beban dinamis vertikal kendaraan roda empat. Beban dinamis vertikal tersebut diperoleh melalui mekanisme kerja portal fleksibel yang dipasang secara melintang di permukaan jalan. Mekanisme injeksi dilakukan oleh torak silinder pneumatik yang diaktuatori naik dan turun oleh portal yang terlindas oleh roda (ban) kendaraan. Proses penyimpanan udara bertekanan tersebut didukung oleh pemasangan beberapa katup non balik (non return valve) dan sambungan reduser pada kedua saluran masuk tangki penyimpanan. Variasi bobot kendaraan ringan, sedang dan berat yang melintasi permukaan jalan secara simultan akan memompa udara luar ke dalam tangki penyimpanan. Besarnya tekanan injeksi dari silinder pneumatik yang dihasilkan dari beban dinamis kendaraan sebesar 0.3bar sampai 0.5 bar. Energi terbarukan ini dapat menggantikan pemakaian BBM atau tenaga listrik untuk menghasilkan udara bertekanan.

Keywords: *dynamic loads, vehicle, renewable energy, pneumaticcylinder, tank,*

1. PENDAHULUAN

Sejumlah kendaraan roda empat khususnya yang melintasi di atas permukaan jalan raya setiap saat menghasilkan sejumlah beban dinamis yang belum dimanfaatkan. Terkait dengan semakin menipisnya cadangan energi mineral yang bersumber dari fosil-fosil di dalam tanah, maka perlu opsi solusi untuk mengatasi krisis tersebut. Suatu kajian inovatif tentang bagaimana mengkonversi /mengubah atau menyerap energi beban dinamis vertikal kendaraan menjadi energi

terbarukan yang dapat disimpan tanpa memakai bahan bakar minyak (BBM) merupakan alternatif solusi yang dapat dipertimbangkan. Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah Menggantikan penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) dengan Beban Dinamis Vertikal Kendaraan (BDvk) sebagai pembangkit energi terbarukan berupa udara bertekanan, menyimpan dan menyiapkan energy proses cuma-cuma kepada masyarakat yang menekuni bidang usaha seperti perawatan kendaraan secara mandiri, serta menekan biaya investasi pengadaan kompresor.

Energi terbarukan diperoleh melalui teknologi pemampatan udara ke dalam tangki penyimpanan oleh silinder pneumatik melalui pijakan roda kendaraan. Proses pengambilan dan penyimpanan udara bertekanan ini dilakukan dengan cara menginjeksi udara mampat dari pergerakan torak silinder pneumatik yang bersumber dari beban dinamis berulang kendaraan. Jumlah udara bertekanan yang tersimpan tersebut adalah sesuai dengan banyaknya kendaraan yang melintasi jalan tanpa mengeluarkan biaya pemrosesan. Dengan prinsip kerja momen kopel, maka gaya injeksi dapat dipindahkan ke batang penghubung torak silinder pneumatik selanjutnya menekan udara mampat masuk ke dalam tangki penyimpanan (storage tank).

2. KAJIAN LITERATUR DAN PENGEMBANGAN HIPOTESA

Efek beban dinamis kendaraan menurut (Finney, 2010) adalah mengacu pada pemecahan masalah yang mendasar antara lain fluktuasi beban gandar oleh beban yang bervariasi, variasi kecepatan dan kondisi jalanan (Pavement conditions). Variasi beban dinamis pada gandar roda berdampak pada system suspensi pegas yang membebani ban kendaraan. Adanya perubahan gaya-gaya adalah sebagai hasil dari perubahan dalam arah horizontal, vertical dan gerakan putar roda/ban kendaraan. Pada permukaan jalan beton kecepatan dan tekanan ban adalah tetap sebesar 40 mph dan 70 psi dengan beban statis gandar adalah 18,050 lb. Gaya lateral yang terjadi pada jalan yang berbelok diungkapkan oleh (Siahaan, 2014) adalah merupakan fungsi dari sudut slip α yang mana radiusnya dapat berubah-ubah. Besarnya volume udara mampat yang masuk ke dalam tangki adalah sangat ditentukan dari dimensi silinder yang digunakan dan kemampuan gaya injeksi yang mendorong torak/ piston maju mundur. Besarnya gaya injeksi dari piston dapat berubah-ubah dan sangat tergantung pada besar kecilnya bobot dinamis kendaraan yang melintas di atas pedal baja fleksibel. Perbandingan antara volume udara

atmosfir V_0 dan volume udara terkompresi/termampatkan V_1 menurut (Festo, 2011) adalah 7 : 1. Kenaikan tekanan yang masuk ke dalam tangki penyimpanan dapat diukur menggunakan manometer yang terpasang pada saluran udara keluar silinder pneumatik. Besarnya tekanan udara yang dihasilkan oleh silinder Pneumatik adalah diperoleh dari tekanan P_1 (bar) pada ruang kompresi A_1 dan tekanan P_2 (bar) pada ruang kompresi A_2 .

Aksi beban dinamis dari kendaraan yang melintas di atas portal fleksibel akan memberikan gaya aksi terhadap pegas spiral, bobot piston/ batang penghubung dan gesekan antara seal piston dan dinding silinder. Pada bagian ini berlaku hukum Newton aksi-reaksi yang perlu diperhitungkan untuk memperoleh beban dinamis vertikal efektif yang sesungguhnya.

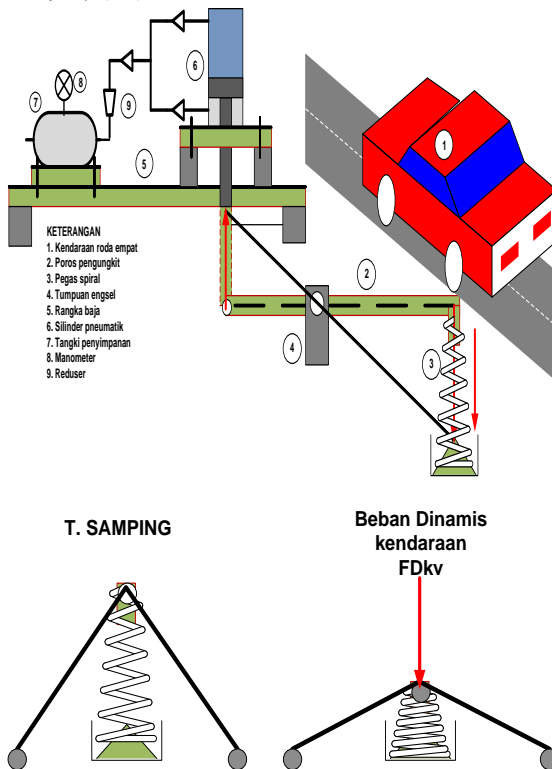
Kajian bobot kendaraan yang melintasi jalan dilakukan dengan memperhitungkan data-data sekunder seperti bobot kosong (idle weight), bobot dengan beban penumpang atau barang.

Gaya aksi beban dinamis vertikal F_{Dkv} sebelum melakukan momen kopel pada pusat tumpuan engsel, mula-mula akan mendapat gaya reaksi dari pegas sebesar F_p (N) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1.2. Akibat timbulnya perlawanan dari gaya reaksi pegas, maka akan mengurangi kerja beban dinamis vertikal kendaraan terhadap gaya gesek, F_f (N) pergerakan piston dan batang penghubung silinder pneumatik maju-mundur atau naik-turun. Untuk meningkatkan kerja beban dinamis dari kendaraan, maka lengan batang pengungkit L_2 dibuat lebih panjang daripada lengan L_1 , ($L_2 > L_1$). Gaya gerak ban yang mengalami pengereman diberikan oleh persamaan berikut

$$F_t = \mu(\lambda) N_v \quad (2-2)$$

Gaya normal ban (gaya reaksi dari tanah terhadap ban) N_v adalah tergantung pada parameter kendaraan seperti bobot kendaraan, titik berat dan system suspense dinamis kendaraan. Untuk

kondisi kering pada aspal dan beton, koefisien adhesinya $\mu(\lambda) = 0.1$ dan 0.9 .



Gambar 2.1 Aksi beban dinamis vertikal kendaraan

Prinsip kerja momen kopel terjadi pada mekanisme proses kerja beban dinamis vertikal pada tumpuan engsel yang dilengkapi oleh pin sebagai penahan beban (Rehnberg, 2008, George H. Martin, 2009). Titik kerja gaya angkat yang ditimbulkan oleh beban dinamis kendaraan adalah berada sejauh L_2 sedangkan gaya dorong (kompresi) pada silinder pneumatik titik kerjanya sejauh L_1 . Besarnya harga perbandingan antara L_1 dan L_2 pada persamaan (2-5) adalah ikut berpengaruh pada momen kopel yang akan bekerja pada torak silinder pneumatik (Finney, 2010, Simon Ka'ka, 2011).

$$\frac{L_1}{L_2} = 0.5 \quad (2-5)$$

Kesetimbangan momen kopel yang ditimbulkan oleh gaya dinamis vertikal kendaraan, FD_{vk} –

FD_{vk} dan gaya normal $F_f - F_p$ adalah memenuhi prinsip-prinsip kesetimbangan gaya dan momen. Persamaan kesetimbangan gaya dan momen oleh (Simon Ka'ka, 2011) melibatkan gaya berat torak dan batang penghubung F_w , gaya gesek F_f , gaya pegas F_p dan gaya dinamis vertikal kendaraan FD_{vk} serta lengan L_1 dan L_2 .

$$\sum F_V = 0 \quad \text{dan} \quad \sum M_V = 0$$

$$FD_{vk} - \mu(F_w + F_f) - F_p = 0 \quad (2-6)$$

$$(FD_{vk} - F_p) L_2 - \mu(F_w + F_f) L_1 = 0 \quad (2-7)$$

Jika koefisien gesek antara piston dan dinding silinder $\mu = 0.1$ dengan memperhatikan persamaan (2-5), maka persamaan (2-7) berubah menjadi:

$$\{ (FD_{vk} - F_p) - 0.05(F_w + F_f) \} L_2 = 0 \quad \text{atau}$$

$$FD_{vk} = F_p + 0.05(F_w + F_f) \quad (2-8)$$

Jika P_1 dan P_2 masing-masing tekanan udara yang diinjeksi pada langkah torak maju dan langkah torak mundur, maka Tekanan efektif P_{ef} yang dihasilkan adalah sebesar $P_1 - P_2$ (R.C. Weber, 2005) yang diformulasikan sebagai berikut:

$$P_{ef} = \frac{4F_{Dvk}}{\pi D^2} - \frac{4F_{Dvk}}{\pi(D^2 - d^2)} \quad (2-9)$$

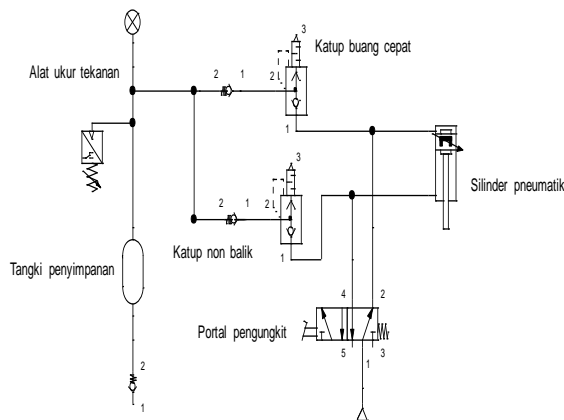
Dimensi piston dan batang penghubung silinder pneumatik yang digunakan ditetapkan berdasarkan standar pabrikasi (Festo, 2011) sedangkan gaya dinamis vertikal kendaraan F_{Dvk} mengacu pada bobot/ massa kendaraan yang melintasi portal injeksi. Sifat utama udara adalah kompressibel, sehingga udara luar yang tekanannya sebesar satu atmosfer, P_0 dengan volume V_0 dapat dimampatkan menjadi volume V_1 dan tekanan P_1 . Besarnya pemampatan volume V_0 menjadi V_1 menurut (Daisuke Hirooka*, 2009) adalah menyusut hingga tujuh kali, atau $V_0/V_1 = 7$. Kajian tentang hubungan antara diameter piston D dengan diameter lubang saluran d , telah dilakukan studi pendahuluan (Simon Ka'ka, 2000) dalam

bentuk persamaan (2-10).

$$d_i = 0.065713 D \quad (2-10)$$

Dimensi saluran udara yang akan digunakan adalah disesuaikan dengan dimensi piston silinder pneumatik yang dipilih.

Proses penyimpanan udara dalam tangki penyimpanan dilakukan dengan menggunakan system pengecilan penampang (reducer) pada saluran udara dengan pengontrolan aliran udara berdasarkan Gambar 2.2.



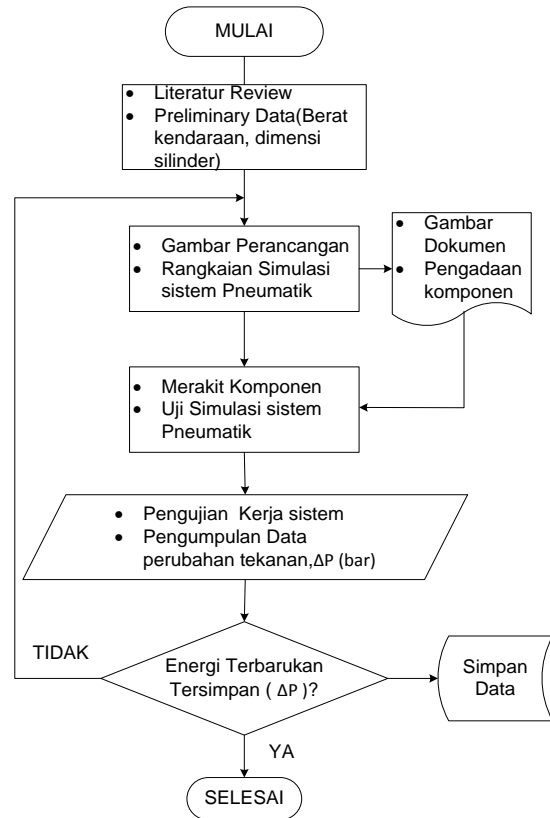
Gambar 2.2 Rangkaian proses saluran injeksi udara ke tangki bertekanan

3. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian yang dimulai dengan Literatur review dan preliminary data adalah penting untuk menjadi sumber inspirasi baru, mengkaji hal-hal yang sudah dan yang belum diteliti, serta memikirkan pengembangan sistem yang lebih inovatif dan berdayaguna.

Preliminary data yang berhubungan erat dengan rencana yang akan diteliti seperti dimensi, berat dan tipe kendaraan sebagai data awal penelitian. Data-data lain yang bersumber dari referensi jurnal atau hasil penelitian sebelumnya juga sangat bermanfaat untuk mendukung pelaksanaan penelitian selanjutnya.

Gambaran tentang tahapan-tahapan kegiatan penelitian yang akan dilakukan secara terpadu dari awal hingga selesai adalah seluruhnya ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1, Bagan Alir Penelitian

Desain gambar dan perancangan rangkaian sistem kontrol pneumatik dapat disimpan sebagai dokumen untuk selanjutnya dijadikan sebagai acuan untuk merakit komponen dan mensimulasikan gerakan sistem yang telah dirancang. Proses selanjutnya adalah pengujian kerja sistem dan pengumpulan data. Pada tahapan ini pengujian dilakukan dengan cara menggelindingkan roda/ban kendaraan di atas pedal portal, kemudian mengungkit/mendorong piston silinder pneumatik bergerak naik-turun. Dalam keadaan yang demikian udara dimampatkan dan diinjeksikan ke dalam tangki penyimpanan yang bertekanan.

Jumlah udara bertekanan yang tersimpan didalam tangki dapat diperoleh dengan memasang Manometer atau alat ukur yang mendeteksi adanya pertambahan tekanan (ΔP , bar) yang terinjeksi dan tersimpan dalam tangki.

Kegiatan pelaksanaan penelitian ini seluruhnya dilakukan di kampus Politeknik Negeri Ujung Pandang yang didukung oleh sarana dan prasarana yang ada sebagai berikut:

Laboratorium CNC, untuk melakukan pengerjaan permesinan berupa pembuatan komponen poros pengungkit, sambungan, dudukan engsel, pin dan sebagainya. Laboratorium Pneumatik/Hidrolik, Elektropneumatik, PLC, dan Mekatronika untuk membuat disain rangkaian kontrol dan simulasi gerakan menggunakan software Fluid Sim. Workshop/Bengkel Las, untuk melakukan kegiatan penyambungan komponen-komponen batang menjadi satu kesatuan rangka sistem mekanik. Laboratorium Multimedia, untuk melakukan kegiatan disain gambar prototipe sistem lengkap dengan dokumen gambar komponen yang diperlukan. Workshop/ Bengkel Mekanik, untuk melakukan pekerjaan pelat dan pengerolan pelat tangki penyimpanan udara mampat.

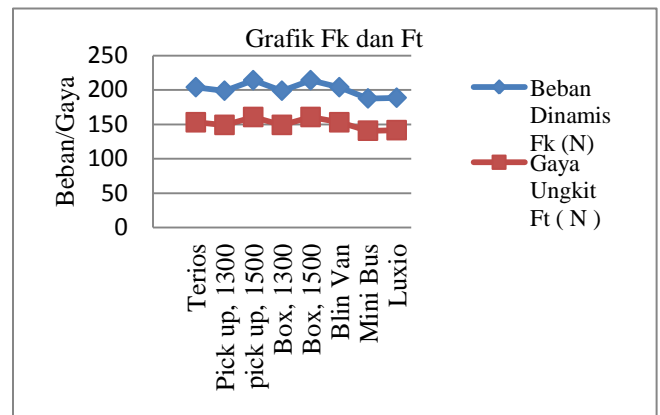
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data berat kendaraan yang terdapat dalam Tabel 4.1 bahwa dengan menggunakan persamaan (2.8) dan (2.9) maka besarnya beban dinamis kendaraan $FDvk$ (N) dan gaya pengungkit Ft (N) yang menghasilkan Pertambahan tekanan $P1$ dan $P2$ masuk ke dalam tangki penampungan adalah berkisar antara 0,24 (bar) sampai 0,27 (bar) untuk gerakan torak maju dan antara 0,42 (bar) sampai 0,48 (bar) untuk gerakan torak mundur.

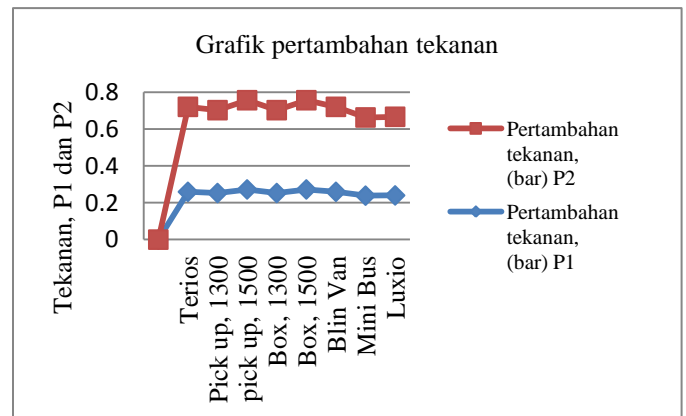
Beban dinamis kendaraan dan gaya ungit maksimal menurut grafik pada gambar 4.1 adalah masing-masing diperoleh sebesar 214.78 N dan 160.55 N.

Tabel 4.1, Hubungan beban dinamis dan gaya ungit pada silinder pneumatik

Bobot total kendaraan m, (kg)	Beban Dinamis FDvk (N)	Gaya Ungkit Ft (N)	Tekanan injeksi pada Silinder Pneumatik (N/m ²)	
			P1	P2
2000	203.87	152.91	25971.4	46171.2
1950	198.78	149.08	25322.1	45016.9
2100	214.07	160.55	27270.0	48479.8
1950	198.78	149.08	25322.1	45016.9
2100	214.07	160.55	27270.0	48479.8
2000	203.87	152.91	25971.4	46171.2
1840	187.56	140.67	23893.7	42477.5
1850	188.58	141.44	24023.6	42708.4



(a)



(b)

Gambar 4.1(a) Grafik Beban dinamis,gaya ungit dan jenis kendaraan (b) Grafik pertambahan tekanan dan jenis kendaraan

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh melalui pengujian beban dinamis kendaraan dan analisis terhadap hasil desain yang telah dibuat, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Besarnya kenaikan tekanan udara yang diperoleh melalui proses injeksi silinder pneumatik adalah berkisar mulai 0,3 sampai 0,5 bar. Semakin besar beban dinamis dari kendaraan semakin tinggi pula kenaikan tekanan udara masuk ke dalam tangki penyimpanan udara bertekanan.
2. Energi terbarukan yang diperoleh dari mekanisme injeksi sistem pneumatik adalah lebih mengacu pada tidak digunakannya energi listrik, bahan bakar minyak (BBM) dan biaya pengadaan kompressor untuk menghasilkan udara bertekanan

6. REFERENSI

- Anggoro Aristianto¹, S., S.T, M.T², Darjat, S.T, M.T². 2012. *Aplikasi Fuzzy Logic Control Pada Sistem Suspensi Semi-Aktif Model Kendaraan Seperempat*. Universitas Diponegoro.
- Daisuke Hirooka*, K. S., Takefumi Kanda 2009. Flow control valve for pneumatic actuators using particle excitation by PZT vibrator. *Sensors and Actuators A: Physical*, A 155, 285–289.
- Festo, A. 2011. Trends in Automation. *The Festo Customer Magazine, Germany*, 2.
- Finney, E. A. 2010. Dynamic Aspect Of Vehicle Size and Weight. 23.
- George H. Martin (ed.) 2009. *Kinematika dan Dinamika Teknik*, Jakarta: Erlangga.
- R.C. Weber, W. H., U. Metzger (ed.) 2005. *Basic Level Pneumatic Technology, TP 101*, Eshlingen, Germany: Festo Didactic.
- Rehnberg, A. 2008. Vehicle dynamic analysis of wheel loaders with suspended axles. *Trita-Ave*, 15.
- Siahaan, I. H. 2014. Analisa Gaya Pada Roda Kendaaraan Pada Berbagai Kecepatan Kendaraan. 7.
- Simon Ka'ka. 2000. *Kajian Dimensi Saluran Distribusi Udara pada Silinder Pneumatik*. S2, Universitas Hasanuddin.
- Simon Ka'ka, A. P. 2011. Analisis Desain Pengisian Tangki Udara Bertekanan Dengan Sistem Injeksi Silinder Pneumatik. 38.

