



**ANALISIS SISTEM PNEUMATIK SEBAGAI  
PENGGERAK KENDARAAN *HYBRID* RAMAH  
LINGKUNGAN**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin**

**Oleh**

**Rifqi Ijlal Taufiqi**

**NIM.5212416022**

**TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2020**

## **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

**Nama** : Rifqi Ijlal Taufiqi  
**NIM** : 5212416022  
**Program Studi** : Teknik Mesin S1  
**Judul** : SIMULASI SISTEM PNEUMATIK SEBAGAI PENGGERAK  
KENDARAAN RAMAH LINGKUNGAN

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 13 Juli 2020

Pembimbing



Dr. Wirawan Sumbodo M.T.

NIP. 196601051990021002

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Analisis Sistem Pneumatik Sebagai Penggerak Kendaraan *Hybrid* Ramah Lingkungan telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada September 2020

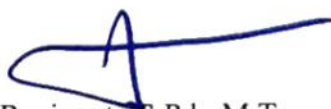
Oleh

Nama : Rifqi Ijlal Taufiqi  
NIM : 5212416022  
Program Studi : Teknik Mesin S1

Panitia:

Ketua Panitia

Sekretaris



Rusiyanto S.Pd., M.T.  
NIP. 197403211999031002



Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T.  
NIP. 197509272006041002

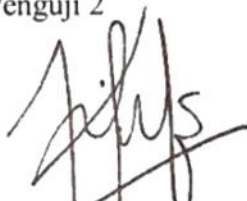
Penguji 1

Penguji 2

Pembimbing



Widya Aryadi S.T., M.Eng.  
NIP. 197209101999031001



Kriswanto S.Pd., M.T.  
NIP. 198609032015041001



Dr. Wirawan Sumbodo M.T.  
NIP. 196601051990021002



Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 13 Juli 2020

Yang membuat pernyataan



Rifqi Ijlal Taufiqi

## **MOTTO**

“Kamu tidak akan bisa kembali ke masa lalu dan memperbaiki pangkalnya, tapi kamu bisa mulai berubah dari sekarang dan merubah ujungnya” – C. S. Lewis

“Apabila suatu urusan atau pekerjaan diserahkan kepada bukan ahlinya, maka tunggulah kerusakan” (Hadis Bukhari)

## RINGKASAN

Rifqi Ijlal Taufiqi

2020

### ANALISIS SISTEM PNEUMATIK SEBAGAI PENGGERAK KENDARAAN *HYBRID* RAMAH LINGKUNGAN

Dr. Wirawan Sumbodo M.T.

Teknik Mesin

Seiring berkembangnya populasi manusia, meningkat juga kendaraan yang digunakan. Penggunaan kendaraan dengan sumber daya minyak bumi menyebabkan efek yang tidak baik bagi manusia dan lingkungan. Inovasi kendaraan listrik cukup efektif, selain tidak menimbulkan polusi udara juga ramah lingkungan. Kendaraan listrik masih memiliki kekurangan dalam pengisian daya listrik yang cukup lama dan stasiun pengisian daya listrik di Indonesia masih sedikit. Memanfaatkan sumber daya udara menggunakan sistem pneumatik sebagai mesin penggerak kendaraan. Tujuan penelitian ini untuk menjelaskan cara kerja konsep penggerak *hybrid electric pneumatic*, menganalisis daya dan torsi yang dibutuhkan kendaraan, dan menjelaskan desain rancangan yang dibuat sesuai dengan kebutuhan.

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah perancangan Pahl and Beitz. Output dari penelitian ini yaitu desain rancangan yang sudah disesuaikan dengan analisis kebutuhan kendaraan.

Hasil dari penelitian ini adalah konsep penggerak menggunakan tipe *hybrid* paralel kompleks, motor *pneumatic rotary* tipe VS12C mampu dijadikan sebagai penggerak sekunder kendaraan *hybrid electric pneumatic*, Daya yang dibutuhkan motor *pneumatic rotary* untuk menggerakkan kendaraan *hybrid electric pneumatic* pada jalan mendatar adalah 5,4 kW dan torsi yang dibutuhkan motor *pneumatic rotary* untuk menggerakkan kendaraan di jalan mendatar adalah 9,7 Nm. Rancangan yang telah dibuat sudah dapat menggerakkan kendaraan dalam kondisi jalan mendatar.

Kata kunci: kendaraan *hybrid*, sistem pneumatik, daya, torsi

## **PRAKATA**

Puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Simulasi Sistem Pneumatik Sebagai Penggerak Kendaraan Ramah Lingkungan. Skripsi merupakan salah satu syarat wajib bagi mahasiswa meraih gelar Sarjana Teknik pada Progran Studi Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

Keberhasilan dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak yang secara suka rela telah membantu baik moril maupun materil. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, MT, Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Dr., Ir. Basyirun S.Pd., M.T., IPP., Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Dr. Wirawan Sumbodo, M.T. selaku pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
4. Kriswanto, S.Pd., M.T dan Widya Aryadi, S.T., M.Eng selaku Penguji yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin FT UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Bapak Dibyo Susilo dan Ibu Siti Rokhmah sebagai orang tua yang telah memberi motivasi dan material dalam menyelesaikan kuliah dan penulisan skripsi.

7. Alfi Rahma Putri yang memberikan semangat dan memberikan bantuan kepada peneliti ketika peneliti kesusahan.
8. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin S1 angkatan 2016 yang selalu menghibur, membantu, dan memberi masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan kepada semua pihak yang telah membantu selama proses perkuliahan dan penulisan skripsi. Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat sebagai sumbangan pemikiran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Semarang, Agustus 2020

Rifqi Ijlal Taufiqi



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERSETUJUAN PEMBIMBING .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR PERSAMAAN.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Identifikasi Masalah .....	5
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Rumusan Masalah .....	6
1.5. Tujuan Penelitian.....	6
1.6. Manfaat Penelitian.....	7
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....</b>	<b>8</b>
2.1. Kajian Pustaka.....	8
2.2. Landasan Teori .....	11
2.2.1. Definisi pneumatik .....	11
2.2.2. Komponen sistem pneumatik .....	12
2.2.3. Kelebihan dan kekurangan pneumatik .....	18
2.2.4. Pengertian <i>hybrid</i> .....	19
2.2.5. Kendaraan <i>hybrid</i> .....	20
2.2.6. Gaya Pada Kendaraan .....	22
2.2.7. Kebutuhan Performa Kendaraan .....	25

2.2.8. Motor <i>Pneumatic Rotary</i> .....	26
2.2.9. Sistem Pemindah Tenaga .....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
3.1 Metode Penelitian.....	30
3.2 Prosedur Penelitian.....	31
3.2.1 Analisis masalah dan studi literatur .....	33
3.2.2 Rancangan konsep produk .....	33
3.2.3 Pengumpulan spesifikasi produk.....	33
3.2.4 Analisis kebutuhan .....	33
3.2.5 Perhitungan Gaya Dorong Kendaraan.....	34
3.2.6 Hasil Penelitian .....	35
3.3 Pernyataan Kebutuhan.....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1. Hasil Penelitian .....	37
4.1.1 Konsep Penggerak <i>Hybrid Electric Pneumatic</i> .....	37
4.1.1. Alur Kerja Motor Listrik .....	39
4.1.2. Alur Kerja Motor <i>Pneumatic Rotary</i> .....	40
4.1.3. Alur Kerja Pengisian Sumber Daya Saat Pengereman.....	41
4.2. Spesifikasi Kendaraan .....	42
4.3. Perhitungan Kebutuhan Kendaraan.....	42
4.3.1. Gaya Hambat Aerodinamis .....	42
4.3.2. Gaya Hambat Rolling Resistance.....	43
4.3.3. Gaya Hambat Total Kendaraan .....	43
4.3.4. Kebutuhan Daya Kendaraan.....	44
4.3.5. Kebutuhan Torsi Kendaraan.....	45
4.4. Penentuan Motor <i>Pneumatic</i> .....	46
4.5. Perhitungan Gaya Dorong Kendaraan.....	47
4.6. Gambar Rancangan Penggerak Kendaraan <i>Hybrid Electric Pneumatic</i> ...	50
4.7. Analisa Hasil Perhitungan Kebutuhan Kendaraan .....	54
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>60</b>
5.1. Simpulan.....	60

5.2. Saran.....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>66</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi tipe mobil berdasarkan koefisiensi drag .....	23
Tabel 2. 2 Koefisien <i>rolling resistance</i> kendaraan.....	25
Tabel 2. 3 Karakteristik Aktuator Pneumatik .....	27
Tabel 4. 1 Data Spesifikasi Kendaraan .....	42
Tabel 4. 2 Data Gaya yang Dihasilkan Kendaraan .....	43
Tabel 4. 3 Kebutuhan Performa <i>Motor Pneumatic Rotary</i> pada Jalan Mendatar .	45
Tabel 4. 4 Kebutuhan Performa Motor Pneumatic Rotary pada Variasi Jalan Menanjak .....	46
Tabel 4. 5 Data performa motor <i>pneumatic rotary type VS12C</i> .....	47
Tabel 4. 6 Data Spesifikasi Roda Gigi .....	48
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Performa Kendaraan.....	50
Tabel 4. 8 Spesifikasi rancangan penggerak kendaraan <i>hybrid electric</i> <i>pneumatic</i> .....	53
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Keseluruhan.....	59

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Peningkatan <i>Volume</i> Kendaraan (2015 - 2017).....	1
Gambar 2. 1 Kompresor.....	12
Gambar 2. 2 Silinder Aksi Tunggal .....	13
Gambar 2. 3 Silinder kerja ganda ( <i>double acting cylinder</i> ).....	14
Gambar 2. 4 Akuator gerak putar.....	14
Gambar 2. 5 Jenis-jenis konduktor.....	17
Gambar 2. 6 Jenis konektor.....	18
Gambar 2. 7 Kendaraan <i>hybrid</i> tipe Seri.....	21
Gambar 2.8 Kendaraan <i>hybrid</i> tipe paralel .....	22
Gambar 2. 9 Skema Aliran Daya Kendaraan .....	26
Gambar 2. 10 Komponen <i>Motor Pneumatic Rotary</i> .....	27
Gambar 3. 1 Diagram alir prosedur penelitian.....	32
Gambar 3. 2 Diagram alir analisis kebutuhan kendaraan .....	34
Gambar 3. 3 Diagram alir perhitungan performa motor <i>pneumatic rotary</i> .....	35
Gambar 4. 1 Konsep Alur Kerja Penggerak Kendaraan <i>Hybrid Electric Pneumatic</i> .....	38
Gambar 4. 2 Alur Kerja Motor Listrik.....	39
Gambar 4. 3 Alur Kerja Motor <i>Pneumatic Rotary</i> .....	40
Gambar 4. 4 Alur Kerja Pengisian Sumber Daya Saat Pengereman.....	41
Gambar 4. 5 Konsep Transmisi.....	47
Gambar 4. 6 Desain Konsep Penggerak Kendaraan <i>Hybrid Electric Pneumatic</i> .	51
Gambar 4. 7 Motor <i>Pneumatic Rotary</i> .....	51
Gambar 4. 8 <i>Rear Axle</i> .....	51
Gambar 4. 9 Kompresor.....	52
Gambar 4. 10 Mekanisme Pemindah Tenaga Motor <i>Pneumatic Rotary</i> .....	52
Gambar 4. 11 Grafik Gaya Hambat Terhadap Kebutuhan Kecepatan.....	54
Gambar 4. 12 Gaya Dorong Kendaraan Pada Jalan Menanjak .....	55
Gambar 4. 13 Grafik Kebutuhan Daya dan Torsi Pada Jalan Mendatar Terhadap Kecepatan Kendaraan.....	56

Gambar 4. 14 Kebutuhan Daya dan Torsi Pada Jalan Menanjak Terhadap	
Kecepatan Kendaraan.....	58

## DAFTAR PERSAMAAN

<i>Persamaan 2. 1 Gaya total kendaraan kondisi jalan menurun .....</i>	22
Persamaan 2. 2 Gaya total kendaraan kondisi jalan menanjak .....	22
<i>Persamaan 2. 3 Gaya hambat aero dinamis .....</i>	23
<i>Persamaan 2. 4 Gaya hambat rolling .....</i>	24
<i>Persamaan 2. 5 Berat kendaraan .....</i>	24
Persamaan 2. 6 Daya minimum kendaraan bergerak .....	25
Persamaan 2. 7 Torsi minimum yang dibutuhkan.....	26
Persamaan 2. 8 Rasio Roda Gigi.....	28
Persamaan 2. 9 Putaran Poros .....	28
Persamaan 2. 10 Kecepatan Kendaraan .....	28
Persamaan 2. 11 Gaya Dorong Torsi .....	28

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Penetapan Dosen Pembimbing.....	66
Lampiran 2 Spesifikasi Beban Kendaraan.....	67
Lampiran 3 Penggerak Kendaraan <i>Hybrid Electric Pneumatik</i> .....	69
Lampiran 4 Penggerak Kendaraan <i>Hybrid Electric Pneumatik</i> .....	70
Lampiran 5 <i>Motor Pneumatic Rotary</i> .....	71
Lampiran 6 <i>Rear Axle</i> .....	72
Lampiran 7 Mekanisme Transisi.....	73
Lampiran 8 <i>Final Gear</i> .....	74
Lampiran 9 Kompresor.....	75
Lampiran 10 Motor Listrik.....	76



## DAFTAR SIMBOL

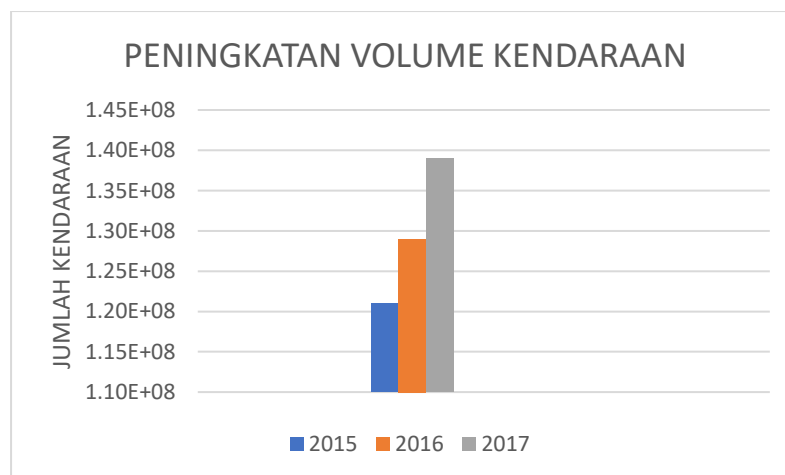
- N = Newton (satuan gaya)  
W = Watt (satuan daya)  
m = meter (satuan panjang)  
s = sekon (satuan waktu)  
kg = kilogram (satuan massa)  
 $F_r$  = Gaya total kendaraan (N)  
 $R_a$  = Gaya hambat aerodinamis (N)  
 $R_r$  = Gaya hambat *rolling resistance* roda (N)  
m = Massa kendaraan (kg)  
 $g$  = Percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )  
 $\theta$  = Sudut kemiringan  
 $\rho$  = massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $C_d$  = koefisien *drag*  
 $A_f$  = luas frontal area kendaraan ( $\text{m}^2$ )  
 $v_{\text{kendaraan}}$  = kecepatan kendaraan (m/s)  
 $C_R$  = Koefisien rolling resistance  
W = Berat kendaraan (N)  
 $P_{\text{minimum}}$  = Daya minimum kendaraan bergerak (W)  
 $T_{\text{minimum}}$  = Torsi minimum kendaraan bergerak (Nm)  
r = Jari – jari roda (m)  
 $i_t$  = Rasio gigi motor ke pemindah daya  
 $i_t$  = Rasio gigi pemindah daya ke *shaft* roda  
 $\eta_t$  = Efisiensi roda gigi

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Seiring bertambahnya populasi manusia, diiringi dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS, 2019) jumlah kendaraan bermotor setiap tahun meningkat. Tercatat pada tahun 2015 ada 121.394.185 (seratus dua puluh satu juta tiga ratus sembilan puluh empat ribu seratus delapan puluh lima), tahun 2016 ada 129.281.079 (seratus dua puluh sembilan juta dua ratus delapan puluh satu ribu tujuh puluh sembilan), tahun 2017 ada 138.556.669 (seratus tiga puluh delapan juta lima ratus lima puluh enam ribu enam ratus enam puluh sembilan) kendaraan bermotor.



Gambar 1. 1 Grafik Peningkatan Volume Kendaraan (2015 - 2017)  
(<https://www.bps.go.id/>)

Menurut Priyambodo (2018), pertumbuhan kendaraan bermotor yang meningkat setiap tahun telah ada sejak lama hingga saat ini. Pertumbuhan jumlah

kendaraan bermotor yang terus meningkat ini harus disikapi dengan cara yang bijaksana, sebab untuk menekan pertumbuhannya tidaklah mudah.

Kendaraan yang beredar di Indonesia mayoritas masih menggunakan bahan bakar minyak sebagai sumber daya kendaraannya. Menurut Hendara (2014) bahan bakar dari minyak bumi memiliki beberapa efek negatif. Selain tidak terbarukan, efeknya juga dapat menyebabkan pemanasan global. Pemanasan global yang dihasilkan dari bahan bakar minyak disebabkan oleh hasil pembakaran yang tidak sempurna yang berbahaya bagi lapisan ozon yang juga dapat memicu terjadinya hujan asam (Raijnder, 2006).

Permasalahan pemanasan global merupakan permasalahan jangka Panjang yang disebabkan kendaraan yang menggunakan bahan bakar minyak. Permasalahan yang sangat dirasakan masyarakat secara langsung adalah pencemaran udara di lingkungan. Undang-undang No. 23 tahun 1997 mengatur mengenai pencemaran udara yang dimaksud adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Menurut Mukono dalam Zakararia dan Azizah (2013) Semakin padatnya lalu lintas oleh kendaraan bermotor membuat bahan pencemar yang terbuang dalam bentuk partikel dan gas. Menurut Soedomo dalam Nanny dan Gunawan (2008) transportasi darat telah memberikan polusi udara terhadap setengah dari total emisi SPM10, untuk sebagian besar timbal (Pb), karbon monoksida (CO), hidro karbon (HC), dan nitrogen monoksida (NO<sub>x</sub>) di daerah

perkotaan, dengan konsentrasi utama terdapat di daerah lalu lintas yang padat, yang mana tingkat pencemaran udara sudah melampaui standar kualitas udara ambien.

Saat ini, dunia industri otomotif telah berkembang dengan sangat pesat diberbagai bidang, termasuk dibidang industri kendaraan mobil. Mobil listrik merupakan mobil yang digerakkan motor listrik, menggunakan sumber daya listrik yang disimpan di dalam baterai. Menurut Zumain (2009), penggunaan mobil listrik dirasa efektif selain tidak menimbulkan polusi udara juga memiliki konstruksi yang lebih sederhana. Melihat tentang kelebihan mobil listrik tentu untuk saat ini akan sangat membantu dalam mengurangi polusi udara, namun ada beberapa kelemahan dari adanya inovasi mobil listrik, yaitu sebagai berikut. Pertama yaitu, tempat pengisian sumber daya. Mobil listrik tidak perlu isi bahan bakar minyak (BBM). Mobil listrik dilengkapi baterai untuk menyimpan daya. Menurut Luthfi, dkk (2018) Kendala saat ini stasiun tempat pengisian bahan bakar masih minim. Hal ini pula menimbulkan kekhawatiran bagaimana jika mobil kehabisan daya. Kedua yaitu waktu pengisian baterai lama, jika mobil konvensional hanya perlu mengisi BBM beberapa menit, bahkan kurang dari lima menit hingga tangki penuh. Namun hal itu tidak dengan mobil listrik, pengisian daya baterai dapat memakan waktu antara 4-6 jam hingga penuh.

Melihat adanya kelemahan yang dimiliki mobil listrik, pada penelitian ini peneliti berinovasi menggabungkan sistem pneumatik sebagai mesin penggerak sekunder kendaraan. Sistem pneumatik sebenarnya sudah banyak digunakan pada kendaraan, yaitu pada sistem pengereman dan sistem suspensi, namun belum ada yang memproduksi kendaraan dengan sistem pneumatik sebagai mesin penggerak

kendaraan tersebut. Menurut Naveenkumar, dkk (2018) mesin pneumatik juga memiliki beberapa kelebihan yaitu udara bertekanan jauh lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar minyak ataupun listrik, selain itu udara juga jumlahnya tidak terbatas, tidak mudah terbakar, dan tidak menimbulkan polusi. Menurut Saurabh, dkk (2014) Kendaraan bertenaga pneumatik membutuhkan waktu yang sangat sedikit untuk mengisi bahan bakar dibandingkan dengan kendaraan yang dioperasikan dengan baterai. Pada penelitian yang dilakukan oleh Simon (2016) menghasilkan sebuah kendaraan yang digerakkan oleh sistem pneumatik. Kendaraan tersebut merupakan kendaraan *prototype* dengan kapasitas 1 penumpang. Performa yang dihasilkan sistem pneumatik mampu mendapatkan kecepatan maksimal 60 km/jam.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan menunjukkan bahwa mobil bertenaga listrik memiliki kelemahan pada pengisian sumber daya, dikarenakan saat pengisian sumber daya kendaraan listrik pengisiannya terlalu lama. Upaya dalam mengatasi permasalahan di atas, peneliti mencoba menerapkan sistem pneumatik sebagai mesin penggerak sekunder kendaraan *hybrid*. Gagasan fundamental yang diajukan adalah mengembangkan mobil *hybrid* dengan penggerak motor listrik dan motor pneumatik yang memiliki kapasitas 4 orang penumpang. Pada penelitian ini peneliti fokus menganalisis performa yang dibutuhkan sistem pneumatik agar dapat menggerakkan kendaraan. Berdasarkan hasil pemaparan yang sudah dipaparkan pada latar belakang di atas, peneliti akan melakukan sebuah penelitian tentang analisis sistem pneumatik pada penggerak kendaraan *hybrid* ramah lingkungan sebagai bentuk penerapan ilmu yang telah

didapat dalam perkuliahan yang berjudul “ANALISIS SISTEM PNEUMATIK SEBAGAI PENGGERAK KENDARAAN *HYBRID* RAMAH LINGKUNGAN”.

### **1.2. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan hasil pemaparan latar belakang di atas, peneliti memberikan identifikasi masalah yang akan dijadikan bahan penelitian sebagai berikut:

1. Meningkatnya jumlah kendaraan yang ada di lalu lintas.
2. Efek negatif penggunaan kendaraan yang menggunakan bahan bakar minyak untuk manusia dan lingkungan.
3. Pengisian sumber daya baterai pada kendaraan listrik terlampau lama.
4. Mengembangkan penelitian tentang kendaraan dengan penggerak sistem pneumatik.
5. Pengembangan sistem pneumatik untuk menggerakkan kendaraan dengan kapasitas 4 orang penumpang.
6. Memanfaatkan sumber daya udara yang jumlahnya tak terbatas sebagai sumber daya kendaraan.

### **1.3. Batasan Masalah**

Masalah dalam penulisan skripsi ini dibatasi oleh beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menganalisis sistem pneumatik yang digunakan sebagai penggerak kendaraan *hybrid* elektrik pneumatik ramah lingkungan dengan kapasitas 4 orang penumpang.

2. Penggerak yang digunakan pada sistem pneumatik adalah motor *pneumatic rotary*.
3. Penelitian ini fokus kepada performa sistem pneumatik sebagai mesin penggerak kendaraan *hybrid*, untuk analisis motor listrik tidak dibahas dalam penelitian ini.
4. Analisis penggerak sistem pneumatik bekerja pada jalan mendatar, jalan pada kemiringan 10, 20, dan 30 derajat.
5. Kecepatan maksimum kendaraan yang dikembangkan adalah 30 km/jam.
6. Tahapan penelitian hanya sampai validasi rancangan, dimana validasi rancangan dilakukan oleh ahli yaitu dosen pneumatik.

#### **1.4. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah yang akan dijadikan sebagai bahan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana konsep cara kerja sistem pneumatik sebagai penggerak kendaraan ramah lingkungan?
2. Bagaimana analisis nilai daya dan nilai torsi yang dibutuhkan sistem pneumatik sebagai penggerak kendaraan ramah lingkungan?
3. Bagaimana desain penggerak kendaraan *hybrid electric pneumatic* berdasarkan spesifikasi kebutuhan?

#### **1.5. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, tujuan penelitian yang akan dijadikan sebagai hasil dari penelitian sebagai berikut:

1. Menjelaskan konsep cara kerja sistem pneumatik sebagai penggerak kendaraan ramah lingkungan.
2. Menganalisis nilai daya dan nilai torsi yang dibutuhkan sistem pneumatik sebagai penggerak kendaraan ramah lingkungan.
3. Menjelaskan desain penggerak kendaraan *hybrid electric pneumatic* berdasarkan spesifikasi kebutuhan.

### **1.6. Manfaat Penelitian**

Tujuan penelitian yang akan dilakukan mencapai hasil yang positif, maka manfaat yang akan diperoleh antara lain sebagai berikut:

1. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK).
2. Menciptakan masyarakat modern yang dapat menerapkan dan mengikuti perkembangan teknologi.
3. Sebagai bahan acuan bagi mahasiswa atau umum untuk mengadakan pengembangan dan penelitian sesuai dengan disiplin ilmu masing-masing.
4. Hasil rancangan dapat digunakan dalam dunia industri otomotif sehingga dapat memberi opsi dalam rencana membangun udara yang bebas polusi.



## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Kajian Pustaka

Penelitian tentang analisis sistem pneumatik sebagai penggerak kendaraan ramah lingkungan yang akan dijadikan sebuah skripsi oleh peneliti. Peneliti mencari informasi dari penelitian-penelitian sebelumnya sebagai bahan perbandingan, baik itu mengenai kekurangan atau kelebihan yang sudah ada. Selain itu, peneliti juga menggali informasi dari buku-buku, artikel, ataupun jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini dalam rangka mendapatkan informasi yang ada sebelumnya tentang teori yang berkaitan dengan judul yang digunakan untuk memperoleh landasan teori ilmiah. Berikut beberapa hasil penelitian yang didapatkan oleh peneliti:

1. Dvoak (2016) *Calculations of Parameters and Mathematical Model of Rotary Air Motor*. Artikel ini menjelaskan perhitungan parameter motor pneumatik, berfokus pada pemodelan matematika motor pneumatik menggunakan *software Matlab Simulink-Simulink* dan menyimpulkan dengan perbandingan hasil percobaan dan model matematika. Hasil penelitian ini adalah torsi pada kecepatan nol sesuai dengan motor nyata tetapi karakteristik torsi tergantung pada kecepatan tidak menurun secara linear. Perbedaan yang lebih besar dalam karakteristik daya. Daya hitung maksimum adalah beberapa kali lebih besar dari kekuatan nyata dan juga dicapai pada kecepatan yang lebih tinggi. Dengan model di atas kami belum mencapai hasil nyata.

2. Simon (2017:200) *Pneumatik Vehicle, Research, and Design*. Artikel ini menjelaskan penelitian, desain, dan konstruksi uji kelayakan kendaraan penggerak pneumatik. Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan cara untuk mengemudi efisien dengan menggunakan energi alternatif, tidak perlu lebih murah, tetapi lebih ramah lingkungan dalam mengatasi polusi udara perkotaan. Metode yang dilakukan ialah sebagai berikut: perhitungan parameter, desain pneumatik, desain elektrik, desain mekanik, analisis tegangan, simulasi dinamik, konstruksi, uji, dan pengoptimalan. Desain pneumatik pada penelitian ini menggunakan kerja *rack and pinion* sebagai penghubung antara aktuator pneumatik dan *shaft* putar. Hasil penelitian ini adalah konsep kendaraan berpengerak pneumatik dengan performa sebagai berikut: kecepatan maksimal 60 km/jam, 43km/jam merupakan kecepatan optimal, jarak tempuh pada 6 bar adalah 6150m per 10 liter dari 180 bar gas nitrogen. Hasil ini didapat dari pengujian kendaraan secara langsung.
3. Naveenkumar (2018:1733) *Design, Fabrication and Simulation of Compressed Air Hybrid Vehicle*. Artikel penelitian ini menjelaskan rancangan dan simulasi kendaraan *hybrid*. Penelitian ini menjelaskan sumber daya yang digunakan ialah udara sebagai penggerak pneumatik, dan panas matahari sebagai sumber daya panel surya. Hasil dari penelitian ini didapatkan kecepatan 13 km/jam pada tekanan udara 5.4 bar dengan beban kendaraan 200 kg. Menurut peneliti kendaraan *hybrid* ini lebih efisien dan bermanfaat dibandingkan dengan mobil saat ini menggunakan

bahan bakar tidak terbarukan, karena teknologi udara bertekanan memungkinkan mesin yang tidak berpolusi dan ekonomis.

4. Fojtásek (2014) *Mathematical Modeling of Diaphragm Pneumatik Motors*. Artikel penelitian ini menjelaskan sifat statis pemodelan matematika motor pneumatik diafragma. Pada motor jenis ini memiliki kontak dua lingkungan elastis yang berbeda - udara terkompresi dan bagian esaltik. Motor-motor ini sebagian besar merupakan motor *stroke* rendah dan bekerja dengan kekuatan yang relatif besar. Dari perspektif ini penentuan karakteristik seperti itu sangat berguna dan model matematika yang dibuat dapat digunakan dalam praktik industri.
5. Dvoák (2016) *Calculations of Parameters and Mathematical Model of Rotary Air Motor*. Artikel penelitian ini menjelaskan perhitungan parameter motor udara putar, berfokus pada model matematika dari motor udara menggunakan *Matlab Simulink-Simulink* dan menyimpulkan dengan perbandingan hasil percobaan dan model matematika. Pada awal artikel, prosedur untuk menghitung parameter utama dan karakteristik motor udara putar dinyatakan. Masalah ini cukup sulit, karena hasilnya dipengaruhi oleh efisiensi pengisian. Efisiensi bervariasi sesuai dengan jenis mesin. Untuk alasan ini, sangat sulit untuk memprediksi karakteristik motor selama desainnya. Bagian lain dikhususkan untuk kemungkinan pemodelan matematika sistem pneumatik dengan motor pneumatik rotari. Dari perhitungan itu mengikuti bahwa hasil model, ketika data dasar dimasukkan, tidak terlalu akurat. Hasil yang relatif akurat dapat dicapai

dengan model dimana vektor kecepatan dan vektor torsi dan konsumsi udara yang sesuai dimasukkan. Kerugian dari model ini adalah bahwa nilai-nilai harus dideteksi secara eksperimental.

## **2.2. Landasan Teori**

### **2.2.1. Definisi pneumatik**

Pneumatik merupakan suatu cabang dari ilmu fisika yang mempelajari fenomena udara yang dimampatkan, sehingga tekanan yang terjadi akan menghasilkan gaya sebagai gerak atau aktuasi pada aktuator (Maryadi, 2017).

Menurut Said dalam (Fahmi, Wahyudi, dan Riyanta, 2017) pneumatik berasal dari Bahasa Yunani yaitu *pneuma* yang mana memiliki arti udara atau angin. Semua sistem yang menggunakan tenaga yang disimpan dalam bentuk udara yang dimampatkan untuk menghasilkan suatu kerja disebut sistem pneumatik.

Menurut Sudaryono (2013) dalam bukunya yang berjudul Pneumatik dan Hidrolik dijelaskan bahwa pneumatik adalah teori atau pengetahuan tentang udara yang bergerak, keadaan-keadaan keseimbangan udara dan syarat-syarat keseimbangan. Menurut Hakim (2009:23) pneumatik adalah sistem tenaga fluida, yaitu sumber energi dari tekanan udara di mesin kompresor, tempat udara menyimpan dalam tangki.

Berdasarkan beberapa pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa sistem pneumatik adalah suatu sistem kerja yang bersumber dari udara yang terkompresi pada tempat tempat penyimpanan (*reservoir*).

### 2.2.2. Komponen sistem pneumatik

Menurut Krist dan Ginting (1993) pemilihan komponen sangat penting untuk pengaplikasian sistem pneumatik. Adapun komponen-komponen pneumatik yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

#### 2.2.2.1. Sumber energi (*energi supply*)

Udara yang terkompresi merupakan sumber energi untuk sistem pneumatik, udara tersebut diperoleh dari kompresor. Menurut Anhar, dkk (2016:39) kompresor merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk menyimpan dan memampatkan udara menggunakan pompa khusus. Biasanya kompresor beroperasi mengisi tangki udara dan berfungsi sebagai cadangan udara untuk jangka waktu tertentu.



Gambar 2. 1 Kompresor  
([www.justdial.com](http://www.justdial.com))

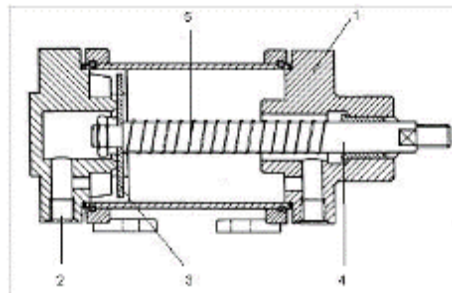
#### 2.2.2.2. Aktuator (*aktuator*)

Menurut Hakim (2009:23) bagian keluaran yang mengubah energi udara terkompresi menjadi energi kerja adalah aktuator. Sinyal keluaran dikontrol oleh sistem kontrol, dan aktuator bertanggung jawab pada sinyal kontrol melalui elemen kontrol terakhir. Dibawah ini merupakan jenis-jenis aktuator, antara lain:

## 1. Aktuator gerak linier

### 1.) Silinder aksi tunggal (*single acting cylinder*)

Silinder aksi tunggal (*single acting cylinder*) merupakan jenis silinder yang hanya memiliki satu *port* untuk masuknya udara bertekanan. Silinder ini menggunakan kekuatan udara bertekanan untuk mendorong ataupun menekan piston dalam satu arah saja (umumnya keluar). Dan menggunakan pegas pada sisi yang lain untuk mendorong piston kembali pada posisi semula (Subhan, 2016).



Gambar 2. 2 Silinder Aksi Tunggal  
(Subhan, 2016)

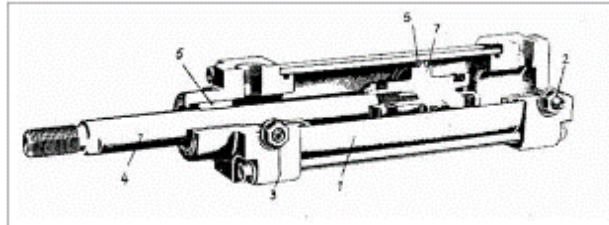
Keterangan:

- |                        |                  |
|------------------------|------------------|
| 1. Rumah silinder      | 4. Batang piston |
| 2. Saluran masuk udara | 5. Pegas kembali |
| 3. Piston              |                  |

### 2.) Silinder kerja ganda (*double acting cylinder*)

Silinder kerja ganda (*double acting cylinder*) merupakan silinder yang memiliki dua *port* untuk *instroke* dan *outstroke*. Silinder jenis ini menggunakan kekuatan udara bertekanan untuk mendorong piston keluar dan mendorong piston untuk kembali ke posisi awal (menarik ke dalam). Sehingga silinder ini membutuhkan lebih banyak udara dan

katup pengontrol arah yang lebih kompleks bila dibandingkan dengan silinder kerja tunggal (Subhan, 2016:1).



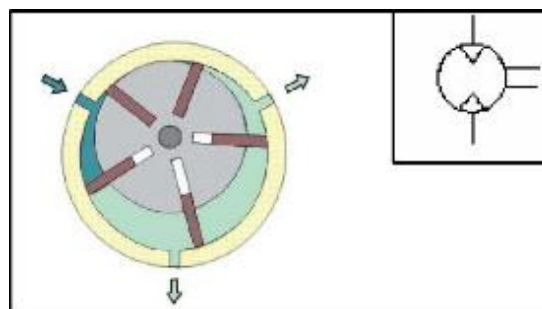
Gambar 2. 3 Silinder kerja ganda (double acting cylinder)  
(Subhan, 2016)

Keterangan:

- |                         |            |
|-------------------------|------------|
| 1. Rumah silinder       | 5. Seal    |
| 2. Saluran masuk udara  | 6. Bearing |
| 3. Saluran keluar udara | 7. Piston  |
| 4. Batang piston        |            |

## 2. Aktuator gerak putar (*rotary*)

Menurut Maryadi (2017) energi gerak putar mekanik yang dihasilkan oleh udara yang terkompresi merupakan aktuator gerak putar. Jadi, aktuator *rotary* merupakan alat yang menghasilkan gerak putar pada poros aktuator yang bersumber dari udara terkompresi.



Gambar 2. 4 Akuator gerak putar  
(Maryadi, 2017)

### 2.2.2.3. Elemen kontrol (*control element*)

Menurut Krist dan Ginting (1993) komponen yang digunakan untuk mengendalikan aliran udara yang masuk dan keluar, tekanan atau tingkat aliran (*flow rate*) yang disalurkan menuju aktuator gerak disebut elemen kontrol.

Simbol-simbol katup pneumatik secara internasional menggunakan standart CETOP (*Comite Europeen des Transmissions Oleohydrau-liquies et Penumatiques*) dan ISO/R1219 -1970. Adapun jenis katup yang digunakan pada sistem pneumatik, diantaranya sebagai berikut:

#### 1. Katup kontrol arah

Menurut Akbar (2017) katup kontrol arah adalah sebuah alat yang mempengaruhi laju aliran udara. Aliran udara akan lewat, terblokir atau membuang ke atmosfer tergantung dari lubang dan jalan aliran katup kontrol arah tersebut. Katup kontrol arah digambarkan dengan jumlah lubang dan jumlah kotak. Lubang-lubang menunjukkan saluran-saluran udara dan jumlah kotak menunjukkan jumlah posisi.

#### 2. Katup searah (*non-return valve*)

Katup searah (*non-return valve*) adalah komponen kontrol pneumatik yang dapat berfungsi untuk mengalirkan aliran udara bertekanan ke satu arah dan menutup aliran ke arah sebaliknya (Prasetyo, 2016).



### 3. Katup pengontrol aliran (*flow control valve*)

Katup pengontrol aliran (*flow control valve*) adalah komponen kontrol pneumatik yang mempunyai fungsi mengatur dan mengendalikan aliran udara bertekanan khususnya udara yang harus masuk ke dalam dan ke luar dari silinder pneumatik (Prasetyo, 2016).

### 4. Katup pengontrol tekanan (*pressure control valve*)

Katup pengontrol tekanan (*pressure control valve*) adalah komponen kontrol pneumatik mempunyai fungsi mencegah terlampauinya tekanan berlebih yang ditolerir dalam sistem. Katup ini akan mengontrol tekanan keluaran agar stabil, walaupun tekanan masukan tidak stabil. Katup pengontrol tekanan akan bekerja apabila tekanan masukan harus lebih besar atau sama dengan tekanan keluaran yang diinginkan (Prasetyo, 2016).

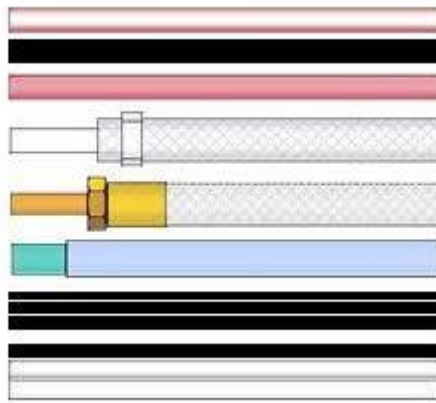
#### 2.2.2.4. Komponen pendukung sistem pneumatik

Selain komponen utama dari pneumatik, juga terdapat beberapa komponen pendukung, yaitu sebagai berikut:

##### 1. Konduktor

Konduktor merupakan sebuah alat yang mempunyai fungsi untuk menyalurkan udara terkompresi menuju ke aktuator. Penginstalan sirkuit pneumatik hingga menjadi satu sistem yang dapat dioperasikan diperlukan konduktor sebagai penyalur sumber daya menuju aktuator yang menghasilkan gaya gerak (Sumbodo dan Pramono, 2010). Berikut adalah macam-macam konduktor:

- 1) Pipa yang terbuat dari tembaga, kuningan, baja, galvanis, atau *stainless steel*. Pipa ini juga disebut konduktor kaku (rigid) dan cocok untuk instalasi yang permanen.
- 2) Selang fleksibel yang biasanya terbuat dari plastik atau karet, selang fleksibel digunakan untuk instalasi pneumatik yang sering dilakukan bongkar pasang.



Gambar 2. 5 Jenis-jenis konduktor  
(Wirawan dan Pramono, 2010)

## 2. Konektor

Konektor merupakan alat untuk menyambungkan atau menjepit konduktor (selang atau pipa) agar dapat tersambung pada instalasi komponen pneumatik (Sumbodo dan Pramono, 2010). Bentuk konektor dapat disesuaikan dengan konduktor yang digunakan. Adapun macam-macam bentuk konektor dapat kita lihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 6 Jenis konektor  
([www.indiamart.com](http://www.indiamart.com))

### 2.2.3. Kelebihan dan kekurangan pneumatik

Dibandingkan media kerja lain, penggunaan sistem pneumatik memiliki beberapa kelebihan (Said, 2012) antara lain:

1. Sumber daya yakni udara dapat didapatkan di mana saja dan dalam jumlah yang tak terbatas.
2. Instalasi aliran mudah, pipa atau selang dapat mengalirkan udara sampai jarak yang jauh.
3. Penyimpanan udara sangat mudah, karena udara bertekanan yang dihisap oleh kompresor dapat disimpan dalam *reservoir*, sehingga kompresor tidak perlu bekerja terus-menerus.
4. Udara bertekanan tidak peka terhadap perubahan temperatur, jadi udara dapat tahan dengan temperatur yang berubah-ubah.
5. Udara merupakan sumber daya yang bersih, karena tidak mencemari lingkungan.
6. Udara bertekanan merupakan media yang cepat, sehingga kecepatan kerja yang tinggi dapat dicapai. Jadi pneumatik dapat digunakan pada kecepatan tinggi.

7. Aman korsleting arus listrik.
8. Tidak ada resiko mesin terbakar.

Selain memiliki banyak kelebihan, instalasi pneumatik juga memiliki kekurangan, antara lain:

1. Untuk mencegah dari keausan komponen pneumatik, pengadaan udara bertekanan harus bersih dari kondensasi dan harus bersih dari partikel debu.
2. Untuk meredam suara yang bising dari udara buangan dapat diatasi dengan cara memasang *silencer* pada saluran pembuangan.
3. Salah satu sifat udara bertekanan adalah selalu ingin menempati ruang kosong sehingga mudah terjadinya kebocoran dan tekanan udara sulit dipertahankan pada saat mesin bekerja. Oleh karena itu mesin memerlukan *seal* supaya udara tidak bocor. Kebocoran *seal* dapat menimbulkan kerugian energi. Peralatan kedap udara diperlukan dalam peralatan pneumatik untuk meminimalisir kebocoran pada sistem udara bertekanan.

#### 2.2.4. Pengertian *hybrid*

*Hybrid* atau hibrida merupakan sebuah teknologi dengan menggunakan sumber tenaga ganda. Kendaraan *hybrid* merupakan jenis kendaraan yang menggunakan sumber penggerak ganda (Hidayat dan Andriyatna, 2013). Menurut Ardan dan Mahendra (2017:185) hibrida merupakan hasil dari persilangan atau penggabungan dari sumber daya yang berbeda. Penekanan

pengertian *hybrid* ini adalah “hasil” dari persilangan atau penggabungan (Rompis dan Sangkertadi, 2013:61).

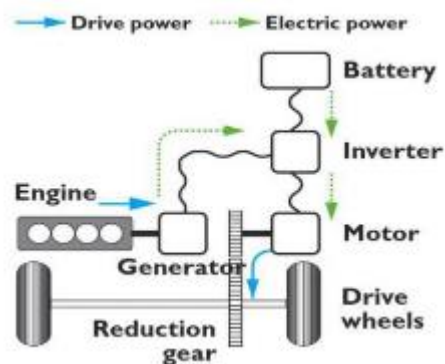
Sedangkan menurut Harfit (2013) *hybrid* adalah istilah ilmiah yang berfokus pada kombinasi dari dua jenis yang terpisah untuk menciptakan sesuatu yang baru atau belum pernah ada sebelumnya. Umumnya hibridas paling sering terjadi dengan tanaman dan hewan, seperti mawar hibrida. Ketika mengacu pada sebuah kendaraan, hasil hibrida adalah gabungan dari dua sumber yang berbeda pada mesin yang menggunakan bahan bakar minyak (BBM) dan motor listrik untuk daya mobil.

Berdasarkan dari beberapa pengertian sebelumnya dapat disimpulkan pengertian dari *hybrid* atau hibrida merupakan gabungan dari dua atau lebih sumber daya untuk menghasilkan gerak.

#### 2.2.5. Kendaraan *hybrid*

Kendaraan *hybrid* merupakan kendaraan yang memiliki berbagai sumber energi berbeda yang dapat dioperasikan secara terpisah maupun bersamaan untuk sebagai penggerak pada kendaraan (Vinay dan Raju, 2017:93). Kendaraan *Hybrid* dibagi menjadi 3 tipe, kendaraan *hybrid* tipe seri, kendaraan *hybrid* tipe *parallel*, dan kendaraan *hybrid* tipe kompleks (seri-paralel) (Prasad dan Lie, 2017:49). *Hybrid* seri merupakan tipe kendaraan *hybrid* paling sederhana (Vidyanadan, 2018:7). Pada kendaraan tipe *hybrid* seri, hanya motor listrik yang menggerakkan roda. Mesin pembakaran dalam menggerakkan motor listrik yang menerima tenaga listrik dari baterai atau generator. *Engine-generator* yang digunakan biasanya memiliki kapasitas kecil dan dihubungkan

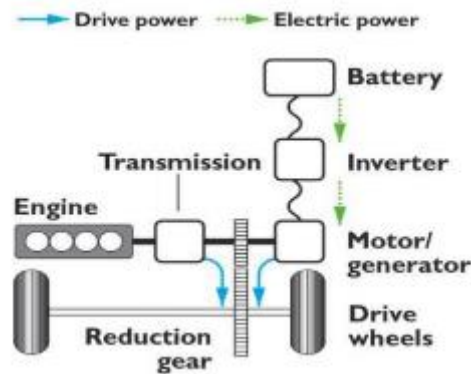
secara seri karena hanya digunakan untuk menambah jarak tempuh berkendara. Untuk mendapatkan kebutuhan tenaga yang besar maka hal tersebut dilakukan, sehingga ukuran baterai dan motor lebih besar (Christanyo, Billy, dan Sutantra, 2012:2301). Skema kendaraan *hybrid* tipe seri ditunjukkan pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Kendaraan *hybrid* tipe Seri  
(Vinay & Raju, 2017)

Pada *hybrid parallel engine-generator* dan motor listrik langsung menggerakkan roda. Tambahan pengendali dan transmisi memungkinkan komponen bekerja secara bersama-sama. Bantuan dari *engine* dapat membuat mesin *hybrid* paralel menggunakan baterai yang lebih besar. Ketika kebutuhan tenaga yang diperlukan lebih kecil, *hybrid* paralel memanfaatkan tenaga *engine* untuk mengatur generator mengisi baterai atau digunakan sebagai *charger* tambahan. *Engine* baru bekerja bila energi pada baterai habis (Christanyo, Billy, dan Sutantra, 2012:1). Tipe *hybrid* kompleks adalah kombinasi dari dua tipe penggerak yang paling efisien, yang memungkinkan kendaraan beroperasi sebagai penggerak listrik (sebagai hibrida seri), sebagai ICE, atau sebagai kombinasi keduanya (sebagai *hybrid* paralel). Contoh: Ford Escape. (Vinay

dan Raju, 2017:93). Diagram skema kendaraan *hybrid* tipe paralel ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kendaraan *hybrid* tipe paralel  
(Vinay & Raju, 2017)

#### 2.2.6. Gaya Pada Kendaraan

Menurut Saraswati (2016) pada jalan mendatar gaya dorong kendaraan dihambat oleh dua gaya yaitu gaya hambat aerodinamis kendaraan dan gaya hambat *rolling resistance* antara ban dan jalan, selain itu kendaraan juga akan melewati jalan yang mempunyai sudut kemiringan (menanjak). Persamaan gaya hambat pada kendaraan:

$$F_r = R_a + R_r \quad (\text{Kondisi jalan mendatar}) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$F_r = R_a + R_r + (m \times g) \sin\theta \quad (\text{Kondisi jalan menanjak}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

$F_r$  = Gaya total kendaraan (N)

$R_a$  = Gaya hambat aerodinamis (N)

$R_r$  = Gaya hambat *rolling resistance* roda (N)

$m$  = Massa kendaraan (kg)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$\theta$  = Sudut kemiringan jalan

### 2.2.6.1. Gaya Hambat Aerodinamis

Menurut Fahrezy (2019) gaya aerodinamis terjadi saat kendaraan bergerak bergantung dengan kecepatan angin. Gaya aerodinamis adalah gaya yang melawan gerak benda. Secara umum gaya aerodinamis ini terjadi akibat perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang benda (Tjitro, 1999). Besar *aerodynamics drag* dapat ditentukan dengan persamaan 2.3.

$$R_a = \frac{1}{2} \times \rho_{\text{udara}} \times C_d \times A_f \times v^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$\rho$  = massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_d$  = koefisien *drag*

$A_f$  = luas frontal area ( $\text{m}^2$ )

$v$  = kecepatan kendaraan ( $\text{m/s}$ )

Bentuk bodi kendaraan sangat mempengaruhi gaya hambat aerodinamis, bentuk bodi yang semakin aerodinamis akan mengurangi hambatan aerodinamis dan akan berpengaruh pada kendaraan.

Tabel 2. 1 Klasifikasi tipe mobil berdasarkan koefisiensi *drag* (Saraswati, 2016)

Jenis Kendaraan	Koefisien <i>Drag</i> ( $C_d$ )
Mobil Penumpang	0,3 - 0,6
Mobil Balap	0,2 – 0,3
Bis	0,6 – 0,7
<i>Truck</i>	0,8 - 1



Tabel 2.1 dapat digunakan referensi untuk menentukan nilai koefisien drag pada tiap tipe bodi kendaraan. Menurut Gunawan, dkk (2019) tipe mobil golf memiliki nilai koefisien drag 0,57.

#### 2.2.6.2. Gaya Hambat *Rolling Resistance*

Gaya hambat yang disebabkan oleh gesekan antara ban yang berputar dengan jalan disebut *rolling resistance* (Saraswati, 2016). Nilai dari suatu *rolling resistance* dipengaruhi oleh berat kendaraan, semakin besar berat yang diterima oleh ban akan menyebabkan semakin besar nilai hambatan. Menurut Wicaksana (2009) hubungan antara *rolling resistance* dengan beban muatan seperti dapat ditunjukkan dalam persamaan:

$$R_r = C_R \times W \dots\dots\dots (2.4)$$

$$W = m \times g \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

$R_r$  = Gaya hambat rolling resistance (N)

$C_R$  = Koefisien rolling resistance

$W$  = Berat kendaraan (N)

$m$  = Massa kendaraan (kg)

$g$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Berdasarkan persamaan 2.4 dapat disimpulkan bahwa selain beban kendaraan, koefisien *rolling resistance* juga mempengaruhi gaya hambat *rolling resistance*. Tabel 3.1 dapat digunakan sebagai referensi dalam menentukan koefisien *rolling resistance* bergantung pada jenis kendaraan dan jenis permukaan jalan.

Tabel 2. 2 Koefisien *rolling resistance* kendaraan (Yudhidya, 2009)

Jenis Kendaraan	Koefisien <i>Rolling Resistance</i> ( $C_R$ )		
	Beton	Tanah dengan kekerasan sedang	Pasir
Kendaraan Penumpang	0,015	0,08	0,3
<i>Truck</i>	0,012	0,06	0,25
Traktor	0,02	0,04	0,2

### 2.2.7. Kebutuhan Performa Kendaraan

Menurut Saraswati, (2016) gaya dorong kendaraan adalah gaya minimum untuk menggerakkan kendaraan. Gaya dorong kendaraan harus dapat melawan hambatan gaya yang ada pada kendaraan. Pada sebuah kendaraan bergerak, dibutuhkan daya untuk menggerakkan kendaraan. Nilai daya merupakan perkalian gaya kendaraan dengan kecepatan kendaraan. Persamaan daya dorong kendaraan dijabarkan pada persamaan 2.6.

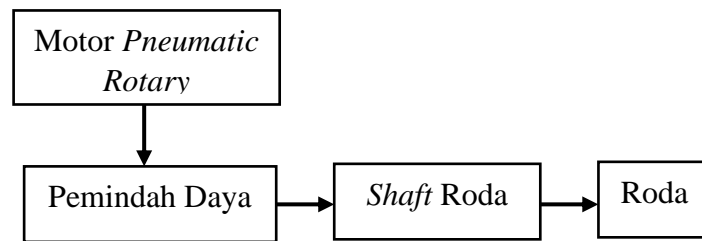
$$P_{\text{minimum}} = F_r \times v_{\text{kendaraan}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

$$P_{\text{minimum}} = \text{Daya minimum kendaraan bergerak (W)}$$

$$v_{\text{kendaraan}} = \text{Kecepatan kendaraan (m/s)}$$

Berdasarkan persamaan 2.6, nilai  $P_{\text{minimum}}$  menjadi acuan untuk menentukan daya penggerak kendaraan. Kendaraan dapat bergerak apabila nilai  $P_{\text{pneumatik}} \geq P_{\text{minimum}}$ .



Gambar 2. 9 Skema Aliran Daya Kendaraan

Daya yang dihasilkan motor *pneumatic rotary* ( $P_{\text{pneumatik}}$ ) dihubungkan oleh pemindah daya lalu *shaft* roda. Penghubung antara motor *pneumatic rotary* sampai ke *shaft* roda adalah roda gigi. Pada roda gigi terdapat efisiensi yang mengakibatkan berkurangnya nilai torsi. Torsi merupakan ukuran kekuatan mesin untuk melakukan kerja yaitu menggerakkan atau memindahkan kendaraan dari kondisi diam hingga berjalan (Nurliansyah, dkk, 2014:4). Persamaan torsi yang dibutuhkan kendaraan dapat dijabarkan pada persamaan 2.7.

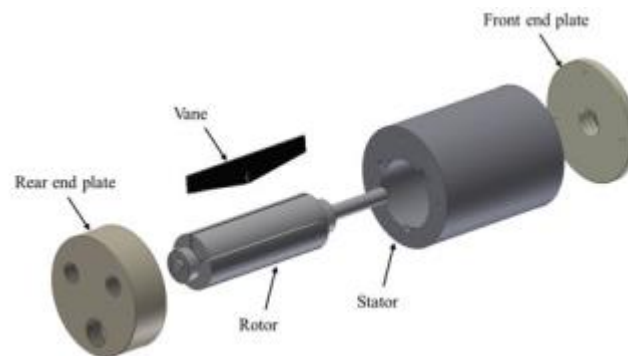
$$T_{\text{minimum}} = F_r \times r \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

$$r = \text{Jari} - \text{jari roda (m)}$$

#### 2.2.8. Motor *Pneumatic Rotary*

Motor pneumatik secara luas digunakan untuk memproduksi alat pneumatik seperti *impact tools*, penggiling udara, bor, obeng, dan lain lain. Motor pneumatik mengubah udara terkompresi menjadi energi mekanik.



Gambar 2. 10 Komponen *Motor Pneumatic Rotary*

Menurut Furferi (2012) aktuator pneumatik jenis *pneumatic vane rotary* memiliki keunggulan performa dibanding aktuator lainnya seperti *radial piston*, *axial piston*, dan *gear motor*.

Tabel 2. 3 Karakteristik Aktuator Pneumatik (Furferi, 2012)

Jenis Aktuator	Karakteristik	
	Daya (kW)	Putaran (rpm)
<i>Radial Piston</i>	1,5 – 3	6000
<i>Axial Piston</i>	1 – 6	5000
<i>Gear Motor</i>	0,5 – 5	15000
<i>Vane Motor</i>	0,1 - 18	30000

#### 2.2.9. Sistem Pemindah Tenaga

Tenaga yang digunakan untuk mengoperasikan kendaraan diperoleh dari mesin yang berfungsi sebagai penggerak utama. Menurut Nugraha (2011) tenaga yang dihasilkan mesin dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu torsi dan daya.

Transmisi kendaraan merupakan bagian dari mekanisme penggerak kendaraan yang berfungsi meneruskan tenaga mesin ke roda. Selain berfungsi meneruskan tenaga mesin, mekanisme transmisi juga berfungsi untuk

menaikkan torsi yang disalurkan ke roda. Transmisi kendaraan terdiri dari roda gigi yang menghubungkan sumber tenaga menuju *axle* roda. Perbandingan rasio roda gigi yang menghubungkan penggerak utama menuju *axle* roda memiliki pengaruh terhadap gaya dorong yang dihasilkan.

$$i = \frac{N_{t_1}}{N_{t_2}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

$i$  = Rasio roda gigi

$N_t$  = Jumlah gigi

Dari persamaan 2.8 dapat dilanjutkan untuk menentukan persamaan kecepatan putaran pada poros roda yaitu sebagai berikut:

$$n = \frac{n_i}{i} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana

$n$  = Putaran Poros (rpm)

$n_i$  = Putaran Input/ Putaran Mesin (rpm)

Menurut Setyono (2019) menghitung kecepatan kendaraan dipengaruhi oleh putaran poros roda dan jari-jari roda kendaraan, seperti persamaan berikut:

$$V_{kend} = \frac{n \times d \times \pi}{60} \dots\dots\dots(2.10)$$

Menurut Saraswati (2016) gaya dorong kendaraan dapat dihitung dengan menggunakan torsi yang dihasilkan penggerak kendaraan, sebagai berikut:

$$F_t = \frac{T_m \cdot i \cdot \eta_t}{r} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

$F_t$  = Gaya Dorong Kendaraan (N)

$T_m$  = Torsi Mesin (Nm)

$\eta_t$  = Efisiensi roda gigi

Gaya dorong kendaraan yang dihasilkan oleh mesin harus lebih besar dari kebutuhan gaya dorong yang dibutuhkan kendaraan ( $F_t > F_r$ ) agar kendaraan dapat berjalan. Gaya dorong kendaraan dan kecepatan kendaraan mempengaruhi besarnya output daya kendaraan, persamaan output daya kendaraan yaitu sebagai berikut:

$$P = F_t \times v_{kend}$$

Dimana

$P$  = Output Daya Kendaraan (kW)

Menurut Setyono dkk (2019) setelah didapatkan nilai *output* daya kendaraan dan putaran poros roda, dapat dihitung nilai *output* torsi pada roda, yaitu sebagai berikut:

$$T = \frac{P \times 60000}{2\pi \times n}$$

Dimana

$T$  = Output Torsi Kendaraan (Nm)

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian sistem pneumatik sebagai penggerak kendaraan ramah lingkungan didapatkan simpulan sebagai berikut.

1. Konsep penggerak kendaraan *hybrid electric pneumatic* menggunakan tipe *hybrid* paralel kompleks, dimana kedua penggerak mampu menggerakkan *shaft* roda dan keduanya mampu untuk melakukan pengisian sumber daya yang memanfaatkan pengereman.
2. Daya yang dibutuhkan motor *pneumatic rotary* untuk menggerakkan kendaraan *hybrid electric pneumatic* pada jalan mendatar adalah 5,4 kW. Torsi yang dibutuhkan motor *pneumatic rotary* untuk memenuhi kebutuhan torsi kendaraan *hybrid electric pneumatic* pada jalan mendatar adalah 9,7 Nm.
3. Desain rancangan yang sudah dibuat sudah memenuhi kebutuhan kendaraan pada kondisi jalan mendatar dengan daya yang dihasilkan kendaraan sebesar 11,4 kW dan torsi yang dihasilkan kendaraan sebesar 19,1 Nm.

#### 5.2. Saran

Adapun saran dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Peneliti selanjutnya diharapkan untuk menganalisis efisiensi motor *pneumatic rotary*, dikarenakan pada penelitian ini nilai efisiensi terlalu rendah.

2. Sistem transmisi dapat menjadi acuan penelitian selanjutnya untuk memaksimalkan performa yang dihasilkan motor *pneumatic rotary*.
3. Dari penelitian yang telah dilakukan diharapkan dapat menjadi acuan bagi peneliti lain untuk mengembangkan inovasi kendaraan *hybrid* elektrik pneumatik lebih dalam.
4. Pada penelitian tidak membahas hasil *real* dari performa sistem pneumatik, melainkan hanya sebuah analisis matematis. Diharapkan peneliti selanjutnya dapat membuat prototipe penggerak kendaraan *hybrid* elektrik pneumatik untuk menguji kendaraan diatas uji *dyno* untuk mengetahui karakteristik performa kendaraan.
5. Skema perpindahan daya dari motor listrik ke motor pneumatik juga dapat menjadi acuan penelitian yang akan mendatang bagi peneliti selanjutnya.
6. Pada penelitian selanjutnya diharapkan peneliti lain dapat menganalisis performa dengan jenis penggerak lain yang ramah lingkungan.
7. Pada penelitian selanjutnya diharapkan peneliti lain dapat membuat motor *pneumatic rotary* yang memiliki performa yang dapat menggerakkan kendaraan *hybrid electric pneumatic* dengan jumlah 6 penumpang dan kondisi jalan menanjak.



## DAFTAR PUSTAKA

- Afrimianto, H. 2013. Perancangan Dan Inovasi Pembuatan Loker Dengan Metode PAHL dan BEITZ Secara Ergonomi. *Skripsi*. Jurusan Teknik Industri. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
- Akbar, R. 2017. *Dasar Pneumatik Modul Pembelajaran Teknik Mekatronika*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Amalia, R. 2016. Pengaruh Penerapan E-Filling Terhadap Tingkat Kepatuhan Penyampaian SPT Tahunan Pajak Penghasilan Wajib Pajak Orang Pribadi dengan Pelayanan Account Representative Sebagai Variabel Intervening di Kota Palembang. *Jurnal Ilmiah Orasi Bisnis* 15:65-77
- Anhar, K. 2016. Rancang Bangun Simulasi Sistem Pneumatik untuk Pemindah Barang. *Jurnal INTEKNA* 16 (1): 39-44.
- Ardan, M. dan A. Mahendra. 2017. Metode Hybrid dalam Perancangan terminal Kampung Melayu Jatinegara. *Jurnal Sains dan Seni Pomits* 6 (2):185-188
- Chao-Chieh Lan. 2010. Modeling and Design of Air Vane Motors for Minimal Torque Ripples. *Journal of Mechanical Design*. National Cheng Kung University. China
- Christanyo, D. G. Billy, dan N. Sutantra. 2012. Studi Eksperimen Kinerja Traksi Kendaraan Hybrid Sapu Jagad. *Jurnal Teknik Pomits* 1(2):1-6
- Dvoak, L. 2016. Calculation of Parameters and Mathematical Model of Rotari Air Motor. *EPJ Web of Conferences* 143. Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment.
- Fahmi, M., Wahyudi, dan B. Riyanta. 2017. Perancangan dan Pembuatan Alat Pelipat Baju dengan Pengontrol Sistem Elektro Pneumatik dan PLC untuk Industri Konveksi. *Jurnal Material dan Proses Manufaktur* 1(2):46-55.
- Fahrezy, R. F., George, E. K., dan Tri, A. S. 2019. Perencanaan design pada mobil minimalis roda tiga. *Proceedings Conference on Design Manufacturing and its Applications*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya: Surabaya.
- Gracia, A. Serrano, R. Sari, Dimitrakopolous, M. Tuner, dan P. Tunestal. 2018. Performance and Emission of a Series Hybrid Vehicle Powered by a Gasoline Partially Premixed Combustion Engine. *Applied Thermal Engineering*.
- Hakim, L. 2009. Analisa Sistem Pneumatik untuk Penggerak Alat Panen kelapa Sawit. *Jurnal Aptek* 1 (1):23-34.

- Harfit, A. R. 2013. Kajian Mobil *Hybrid* dan Kebutuhannya di Indonesia. *Tesis*. Program Pasca Sarjana Universitas Gunadarma. Jakarta.
- Herrel, C. Ghosh, dan Bowden, R. 2004. *Simulation Using Promodel Second Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Hendra, D. 2014. Pembuatan Biodiesel Dari Biji Kemiri Sunan. *Jurnal Penelitian Hutan*. Vol.32 No. 1. Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan. Bogor.
- Hidayat, R. 2013. Kaji Literatur karakteristik Performansi Hybrid Engine Toyota Prius. *Skripsi*. Program Sarjana Universitas Pasundan. Bandung.
- Ismiati. 2014. Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistik* 1(3):241-248.
- Krist, T. dan D. Ginting. 1993. *Dasar Pneumatik: Prinsip Dasar Perhitungan Komponen Pneumatik*. Jakarta: Erlangga.
- Kusminingrum, N. dan G. Gunawan. 2008. *Polusi Udara Akibat Aktivitas Kendaraan Bermotor di Jalan Perkotaan Pulau Jawa dan Bali*. Bandung: Litbang Jalan dan Jembatan.
- Law, A. dan D. Kelton. 1991. *Simulation Modeling & Analysis*. Arizona: McGraw-Hill.
- Luthfi Parinduri, Yusmartato, dan Taufik Parinduri. 2018. Kontribusi Konversi Mobil Konvensional ke Mobil Listrik dalam Penanggulangan Pemanasan Global. *Journal of Electrical Technology*, Vol. 3, No. 2. Fakultas Teknik. Universitas Islam Sumatera Utara. Sumatera Utara
- M Andri Zumain. 2009. Prototipe Monil Listrik dengan Menggunakan Motor DC Magnet Permanen 0,37 HP. *Skripsi*. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok
- Maryadi, T. 2011. Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Multimedia pada Mata Kuliah Pengajaran Mikro. *Jurnal Edukasi Elektro* 2(1):43-51.
- Maryadi. 2017. *Modul Elektronika dan Mekatronika*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Meyer, W. 1985. *Concept of Mathematical Modeling*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Naveenkumar, C. 2018. Design, Fabrication, and Simulation of Compressed Air Hybrid Vehicle. *International Research Juornal of Engineering and Energi (IRJET)* 5(2):182-188.

- Nugraha, S. N. 2011. *Sistem Pemindahan Tenaga Pada Sepeda Motor*. Yogyakarta: PT. Skripta Media Creative.
- Nurdin Zakaria dan R. Azizah. 2013. Analisis Pencemaran Udara (So<sub>2</sub>), Keluhan Iritasi Tenggorokan dan Keluhan Kesehatan Iritasi Mata pada Pedagang Makanan di Sekitar Terminal Joyoboyo Surabaya. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, Vol. 2, No. 1. Departemen Kesehatan Lingkungan. Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Airlangga. Surabaya
- Nurliansyah. 2014. Pengaruh jenis bahan bakar bensin dan variasi rasio kompresi terhadap torsi dan daya pada sepeda motor Suzuki shogun 125 SP tahun 2007. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Prasad, D. dan T. Lie. 2017. The Electrical Vehicle. *International Journal Electric and Hybrid Vehicle* 9(1):49-66.
- Prasetyo, A. A. 2016. Rancang Bangun Simulator Lift Pengirim Barang dengan Pneumatik. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Priyambodo. 2018. *Correlation Analitic of vehicle and GDP on East Java Province*. Surabaya: Sekretariat Badan Penelitian dan Pengembangan Perhubungan.
- Reinjders, L. 2006. *Conditions For The Sustainability Of Biomass Based Fuel Use Energy Policy*, 863-876.
- Rompis, F. dan Sangkertadi. 2013. Hibridisasi Fungsi Pasar Tradisional dan Mall. *Jurnal Arsitektur Daseng Ustrat* 2(1):61-66.
- Said, H. 2012. *Aplikasi PLC dan Sistem Pneumatik pada Manufaktur Industri*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Saraswati I. R., 2016. Analisa rancangan sistem transmisi dan kinerja traksi pada kendaraan produksi multiguna pedesaan. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Saurabh Pathak, Kontham Swetha, V. Sreedhar, dan V.S.V Prabhakar. 2014. Compressed Air Vehicle: A Review. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, ISSN: 2320-2092. Vol. 2, No. 4. Department of Mechanical Engineering. Vardhaman College of Engineering-Shamshabad. India.
- Setyono, B. dkk. 2019. Desain Dan Analisis Performansi Sistem Penggerak Purwarupa Kendaraan Hybrid Bertenaga Udara dan Listrik “Bed 18” Menggunakan “Scotch Yoke Mechanism”. *Jurnal IPTEK*, 23(1).

- Simon, M. 2017. Pnematik Vehicle, Research, and Design. *10<sup>th</sup> International Conference Interdisciplinarity in Engineering*. Universitas of Tirgu Mure. Romania. 200-205
- Subhan, M. 2016. Perancangan Peralatan Secara Ergonomi untuk Meminimalkan Kelelahan di Pabrik Kerupuk. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Universitas Muhammadiyah Jakarta. Jakarta. 1-6
- Sudaryono. 2013. *Pneumatik dan Hidrolik*. Jakarta: Direktorat Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Sugiyono. 2013. *Metodelogi penelitian kuantitatif, kualitatif dan r&d*. Bandung: ALFABETA.
- Sumbodo, W. dan Pramono. 2010. *Pneumatik-Hidrolik*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Susanto, A., M. Purwitasari, B. Antariksa, R. Soemarwoto, dan S. Mustofa. 2018. Dampak Polusi Udara terhadap Asma. *Jurnal Kedokteran* 2(2):162-173.
- Syaefudin, U. Syamsuddin. dan Abin. 2005. *Perencanaan Pendidikan Pendekatan Komprehensif*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Tjitro, S., Agus, A. W. 1999. Perbaikan karakteristik aerodinamika pada kendaraan niaga. *Jurnak Tekniuk Mesin* 1(02):108-115.
- Trianto. 2010. *Model Pembelajaran Terpadu*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Vidyanadan, K. 2018. *Overview of Electrical and Hybrid Vehicles*. India: Power Management Institute NTPC Ltd.
- Vinay, dan I. Raju. 2017. Hybrid Electic Vehicles. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* 50(2):93-95.
- Wicaksana Y., dkk. 2009. Studi penentuan tahanan gulir pada beberapa material jalan untuk operasi alat angkut di tambang terbuka batubara. *Prosiding TPT XVIII*. Institut Teknologi Bandung. Bandung