

**PENGARUH KEMAGNETAN NEODYMIUM-IRON-BORON PADA BAHAN
BAKAR TERHADAP EMISI GAS BUANG SEPEDA MOTOR EMPAT
LANGKAH**

SKRIPSI

*Diajukan kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Teknik Otomotif sebagai salah satu
persyaratan Guna memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan*



Oleh

FAJRUL IHSAN

NIM/BP: 13849/2009

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2015**

ABSTRAK

Fajrul Ihsan :Pengaruh Kemagnetan *Neodymium-Iron-Boron* Pada Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Empat Langkah.

Magnet *neodymium-iron-boron* merupakan salah satu magnet kuat yang diklaim lebih kuat dari pada magnet ferrit dan menjadi magnet yang umumnya digunakan dalam bidang teknologi. Setiap material di alam ini tersusun atas atom-atom, dan atom memiliki sifat magnet. Sama halnya dengan hidrokarbon pada bahan bakar, juga terdiri atas atom-atom yaitu atom *hydrogen* dan *carbon*. Magnet memiliki dua kutub yang berbeda, kutub utara dan kutub selatan, kutub ini akan saling tolak menolak dengan sesamanya, dan akan saling tarik menarik dengan kutub yang berbeda. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh kemagnetan *neodymium-iron-boron* pada bahan bakar terhadap emisi gas buang sepeda motor empat langkah, dan untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan tingkat emisi gas buang yang dihasilkan pada sepeda motor empat langkah dengan mengubah arah magnet *neodymium-iron-boron*.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen yang dilakukan pada tanggal 21 April 2015 untuk menguji emisi gas buang. Pengujian emisi gas buang dilakukan pada empat tingkat Rpm yaitu 1500 Rpm, 2000 Rpm, 2500 Rpm, dan 3000 Rpm masing-masing putaran dilakukan pengujian sebanyak tiga kali pengujian, data pengujian emisi yang diambil adalah CO, HC, dan CO₂. Ada 3 *treatment* yang dilakukan yaitu pada perlakuan standar, penggunaan magnet NdFeB dengan konfigurasi 1 (kutub yang berbeda mengarah ke saluran bahan bakar / arah tarik menarik), penggunaan magnet NdFeB dengan konfigurasi 2 (kutub yang sama mengarah ke saluran bahan bakar / arah tolak menolak).

Hasil penelitian membuktikan bahwa adanya pengaruh kemagnetan *neodymium-iron-boron* pada bahan bakar terhadap emisi gas buang sepeda motor empat langkah, dan terdapat perbedaan tingkat emisi gas buang yang dihasilkan pada sepeda motor empat langkah dengan mengubah arah magnet *neodymium-iron-boron*, yaitu dengan konfigurasi 1 dan konfigurasi 2. Tingkat emisi CO, HC, dan CO₂ yang dihasilkan sepeda motor empat langkah dengan penggunaan magnet NdFeB konfigurasi 2 lebih rendah dari pada penggunaan magnet NdFeB konfigurasi 1. Untuk RPM 3000, tingkat penurunan emisi CO, HC dan CO₂ pada penggunaan NdFeB konfigurasi 1 berturut-turut sebesar 14, 5349 %, 4,8544 %, dan 4,2969 % dari perlakuan standar. Sedangkan pada konfigurasi 2 sebesar 21,5116 %, 35,9223 %, dan 23,0469 %.

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran ALLAH SWT atas segala rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Kemagnetan *Neodymium-Iron-Boron* Pada Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Empat Langkah”** ini dengan baik. Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program pendidikan pada jenjang program Strata Satu (S1), Program Studi Pendidikan teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada :

1. Bapak Drs. Syahril, ST, M.SCE, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Drs. Martias, M.Pd selaku Ketua Jurusan Teknik Otomotif.
3. Ibu Irma Yulia Basri, S.Pd, M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Otomotif.
4. Bapak Drs. Hasan Maksum, M.T selaku dosen Pembimbing I
5. Bapak Dwi Sudarno Putra, S.T, M.T selaku dosen Pembimbing II
6. Bapak Drs. M. Nasir, M.Pd selaku dosen Pembimbing Akademik
7. Dosen dan Staf pengajar Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

8. Kedua Orang Tua yang telah memberikan dorongan dan motivasi kepada penulis, baik secara materil maupun non-materil dalam menjalankan perkuliahan sampai menyelesaikan skripsi ini.
9. Seterusnya kepada semua rekan-rekan mahasiswa Teknik Otomotif yang telah membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Penulis berharap semoga bantuan, bimbingan dan petunjuk yang Bapak/Ibu berikan menjadi amal shaleh dan mendapat balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT. Penulisan skripsi ini sudah semaksimal mungkin, namun jika ada kritikan dan saranyang bersifat membangun demi kesempurnaan dimasa yang akan datang, penulis akan sangat berterima kasih.

Padang Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	6
C. Batasan Masalah	7
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian	8
F. Asumsi	8
G. Manfaat Penelitian	8
BAB II KAJIAN TEORI	10
A. Deskripsi Teori	10
1. Kemagnetan	10
a. <i>Diamagnetism</i>	13
b. <i>Paramagnetism</i>	15
c. <i>Ferromagnetism</i>	16
2. <i>Neodymium-Iron-Boron</i>	17
3. Bahan Bakar Bensin	20
4. Emisi Gas Buang	22
a. Karbon Monoksida	26
b. Karbon Dioksida	28
c. Nitrogen Oksida	30
d. Hidrokarbon	33
e. Sulfur Dioksida	35
5. Sepeda Motor Empat Langkah	37
6. Hubungan Kemagnetan dengan Emisi Gas Buang	44

B. Penelitian yang Relevan	49
C. Kerangka Berfikir	50
D. Hipotesis Penelitian	52
BAB III METODE PENELITIAN	53
A. Desain Penelitian	53
B. Defenisi Operasional dan Variable Penelitian	53
1. Defenisi Operasional	53
2. Variable Penelitian	54
C. Objek Penelitian	55
D. Jenis dan Sumber Data	56
E. Instrumen Pengumpulan Data	56
F. Prosedur Penelitian	56
G. Teknik dan Alat Pengumpulan Data	59
H. Teknik Analisis Data	60
BAB IV HASIL PENELITIAN	
A. Deskripsi Data.....	62
B. Analisa Data.....	64
C. Pembahasan	66
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	76
B. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	84

DAFTAR TABEL

Tabel :	Halaman:
1. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia dari Tahun 2006 sampai 2012.....	1
2. Rekapitulasi Data Kendaraan Bermotor Yang Telah Diregistrasi Sampai Dengan Tahun 2014 di Sumatera Barat	2
3. Penjualan Bahan Bakar Bensin dan Solar Di Seluruh Indonesia Pada Tahun 2009 Sampai 2013	2
4. Parameter Kualitas Udara di Kota Padang Dengan Pemantauan Pada Bulan September Sampai Dengan Oktober 2014	4
5. Sifat Beberapa Jenis Material Magnet.....	20
6. Spesifikasi Sepeda Motor Suzuki Thunder 125 Tahun 2008	55
7. Pengambilan Data Tanpa Menggunakan Magnet.....	59
8. Menggunakan Magnet NdFeB Dengan Arah Kutup Berlawanan	60
9. Menggunakan Magnet NdFeB Dengan Arah Kutup Searah	60
10. Data Tanpa Menggunakan Magnet.....	62
11. Data Menggunakan Magnet NdFeB Dengan Konfigurasi Satu	63
12. Data Menggunakan Magnet NdFeB Dengan Konfigurasi Dua	63
13. Persentase Analisis Data Tingkat Emisi Gas Buang.	64
14. Persentase Penurunan Dan Peningkatan Pada Setiap Konfigurasi Magnet Terhadap Keadaan Standar.....	65
15. Persentase Peningkatan Dan Penurunan Tingkat Emisi CO, HC, dan CO ₂ Pada Setiap Treatment.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman:
1. Diagram Persentasi Penggunaan Bahan Bakar Minyak.....	3
2. Gerak <i>orbital</i> dan <i>intrinsic spin</i> pada <i>electron</i>	12
3. Arah medan magnet yang dihasilkan oleh gerak orbital dan <i>spin</i>	12
4. Contoh pengisian <i>pairs electron</i> pada sub kulit p.....	14
5. Contoh pengisian <i>unpairs electron</i> pada sub kulit d.....	16
6. Grafik <i>hysteresis</i>	17
7. Grafik Kekuatan NdFeB grade N42 (12x12x12) mm.....	19
8. Struktur <i>n-heptane</i> dan <i>isooctane</i>	22
9. Langkah <i>induction</i> dan <i>compression</i>	38
10. Langkah <i>power</i> dan <i>exhaust</i>	39
11. Grafik RPM terhadap HP dan AFR menggunakan sistem karburator	41
12. Diagram indikator pada mesin 4 langkah	43
13. Ilustrasi perubahan <i>parahydrogen</i> menjadi <i>orthohydrogen</i>	48
14. Ilustrasi reaksi <i>hydrocarbon</i> dengan oksigen.....	48
15. Entalpi pembakaran sebelum menggunakan magnet dan setelah menggunakan magnet	49
16. Kerangka berfikir	51
17. Perlakuan standar	57
18. Konfigurasi 1	58
19. Konfigurasi 2	58

20. Grafik Perbedaan Tingkat Emisi Gas Buang CO Yang Dihasilkan Pada Masing-Masing Treatment	66
21. Grafik Perbedaan Persentase Peningkatan Dan Penurunan Tingkat Emisi CO Pada Masing-Masing Konfigurasi Terhadap Keadaan Standar	67
22. Grafik Perbedaan Tingkat Emisi Gas Buang HC Yang Dihasilkan Pada Masing-Masing Treatment	68
23. Grafik Perbedaan Persentase Peningkatan Dan Penurunan Tingkat Emisi HC Pada Masing-Masing Konfigurasi Terhadap Keadaan Standar	69
24. Grafik Perbedaan Tingkat Emisi Gas Buang CO ₂ Yang Dihasilkan Pada Masing-Masing Treatment	70
25. Grafik Perbedaan Persentase Peningkatan Dan Penurunan Tingkat Emisi CO ₂ Pada Masing-Masing Konfigurasi Terhadap Keadaan Standar. .	71
26. Grafik Perbedaan Rata-Rata Tingkat Persentase CO Pada Setiap Treatment	72
27. Grafik Perbedaan Rata-Rata Tingkat Persentase HC Pada Setiap Treatment	72
28. Grafik Perbedaan Rata-Rata Tingkat Persentase CO ₂ Pada Setiap Treatment.	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Surat Izin Penelitian	84
2. Data Hasil Penelitian.....	85
3. Tabulasi Data Pengujian Yang Diketahui Oleh Teknisi Labor.....	89
4. Dokumentasi Penelitian	91

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kendaraan bermotor sebagai salah satu moda transportasi merupakan kebutuhan bagi masyarakat pada umumnya. Tingginya kebutuhan masyarakat terhadap transportasi salah satunya dapat dilihat dari peningkatan jumlah kendaraan di Indonesia dari tahun ke tahun. Laju peningkatan kendaraan bermotor seperti dilaporkan oleh Badan Pusat Statistik dari tahun 2006 sampai 2012 seperti Tabel 1.

Tabel 1.Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia dari Tahun 2006 sampai 2012

Tahun	Mobil Penumpang	Bis	Truk	Sepeda Motor	Jumlah
2006	6.035.291	1.350.047	3.398.956	32.528.758	43.313.052
2007	6.877.229	1.736.087	4.234.236	41.955.128	54.802.680
2008	7.489.852	2.059.187	4.452.343	47.683.681	61.685.063
2009	7.910.407	2.160.973	4.452.343	52.767.093	67.336.644
2010	8.891.041	2.250.109	4.687.789	61.078.188	76.907.127
2011	9.548.866	2.254.406	4.958.738	68.839.341	85.601.351
2012	10.432.259	2.273.821	5.286.061	76.381.183	94.373.324

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2012

Pada Tabel 1 dapat dilihat peningkatan dan jumlah kendaraan terbesar terdapat pada sepeda motor, total peningkatannya mencapai sekitar 10 % per tahun dan jumlah terakhirnya pada tahun 2012 mencapai 76.381.183 unit. Rekapitulasi data kendaraan bermotor yang telah diregistrasi di Sumatera Barat sampai dengan tahun 2014 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Data Kendaraan Bermotor Yang Telah Diregistrasi Sampai Dengan Tahun 2014 di Sumatera Barat

No	Jenis	Jumlah			Total
		Perorangan	Umum/ perusahaan	Pemerintah	
1.	Mobil Penumpang	161.103	9.856	7.469	178.428
2.	Mobil Bus	2.314	6.610	419	7.343
3.	Mobil Barang	80.287	19.714	2.234	102.2 35
4.	Sepeda Motor	1.643.062	30	12.902	1.655.994
5.	Khusus	90	-	796	886
Jumlah		1.886.856	34.210	23.820	1.944.886

Sumber : Direktorat Lalu Lintas Polda Sumbar

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa sepeda motor merupakan kendaraan yang paling banyak digunakan, khususnya di Sumatera Barat, mencapai 1.655.994 unit, jadi 85 % kendaraan yang ada di Sumatera Barat adalah sepeda motor, kemudian disusul oleh kendaraan-kendaraan lain seperti mobil penumpang, mobil barang, bus dan kendaraan khusus.

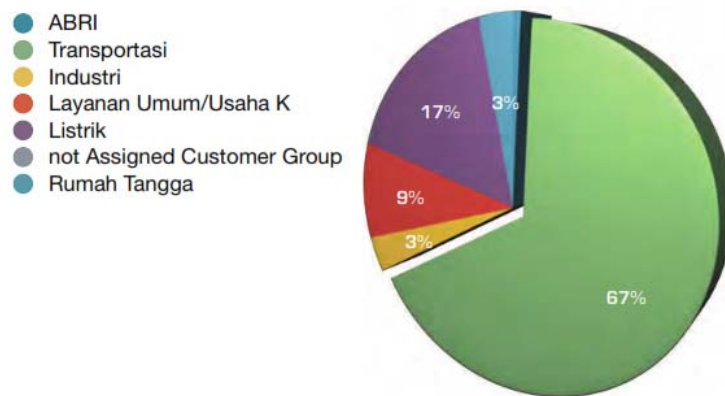
Peningkatan kendaraan bermotor juga disusul dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar, khususnya untuk bahan bakar bensin dan solar. Hal ini ditandai dengan meningkatnya penjualan bahan bakar bensin dan solar di seluruh Indonesia pada tahun 2009 sampai 2013 yang diperoleh dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penjualan Bahan Bakar Bensin dan Solar Di Seluruh Indonesia Pada Tahun 2009 Sampai 2013

Tahun	Bensin (kiloliter)	Solar (kiloliter)
2009	22.180.210	26.691.227
2010	24.213.149	29.352.835
2011	26.756.606	33.624.959
2012	29.275.731	33.271.257
2013	30.508.154	33.352.050

Sumber : Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Tahun 2015

Peningkatan penjualan bahan bakar jenis bensin di Indonesia dari tahun 2009 sampai 2013 sekitar 10% pertahunnya. Pada tahun 2013 penggunaan bensin mencapai 30.508.154 kiloliter dan bahan bakar jenis solar sekitar 33.352.050 kiloliter. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, ada beberapa sektor yang menggunakan bahan bakar minyak di Indonesia yaitu sektor industri, ABRI, transportasi, layanan umum, listrik, rumah tangga, dan sektor lainnya. Meskipun demikian, dari total penggunaan bahan bakar di dalam negeri tahun 2011, 67% nya digunakan untuk sektor transportasi. Berikut ini persentasi penggunaan bahan bakar berdasarkan sektor yang terlibat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Persentasi Penggunaan Bahan Bakar Minyak
 Sumber: Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian
 ESDM. Tahun 2011

Penggunaan bahan bakar minyak yang cukup besar ini tentunya berpengaruh pada emisi gas buang yang dihasilkan, khususnya oleh kendaraan bermotor. Emisi gas buang pada kendaraan bermotor merupakan salah satu penyumbang utama polusi udara pada saat sekarang ini, khususnya di daerah perkotaan, seperti yang dilaporkan oleh badan kesehatan dunia, “*Vehicle and*

industrial emissions are major contributors to air pollution in urban settings.”

(World Health Organization, 2004). Polusi udara merupakan salah satu penyebab masalah pernapasan dan penyakit lainnya yang berbahaya, seperti yang ditegaskan oleh badan kesehatan dunia dalam situs resminya bahwa,

“Air pollution is contamination of the indoor or outdoor environment by any chemical, physical or biological agent that modifies the natural characteristics of the atmosphere. Household combustion devices, motor vehicles, industrial facilities and forest fires are common sources of air pollution. Pollutants of major public health concern include particulate matter, carbon monoxide, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Outdoor and indoor air pollution cause respiratory and other diseases, which can be fatal”(WHO, 2014)

Kendaraan bermotor menghasilkan emisi gas buang berupa O₃ (trioksigen), CO (karbon monoksida), SO₂ (sulfur dioksida), NO_x (nitrogen oksida), Pb (timbal), dan partikel-partikel kecil. Polutan-polutan ini, baik kita sadari ataupun tidak telah mencemari lingkungan sekitar kita. Berikut ini parameter kualitas udara di kota Padang dengan pemantauan pada bulan September sampai dengan Oktober 2014 yang diperoleh dari PPE Sumatera Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Kualitas Udara di Kota Padang Dengan Pemantauan Pada Bulan September Sampai Dengan Oktober 2014

No	Polutan	Tingkat polusi maksimum (µg/m ³)	Baku Mutu
1.	PM 10	810,14	150
2.	NO ₂	84	100
3.	CO	9250,39	10000
4.	SO ₂	96,58	60

Sumber : Pusat Pengelolaan Ekoregion Sumatera. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa polutan jenis PM 10 dan SO₂ telah melebihi baku mutunya, sedangkan polutan jenis karbon monoksida dan

nitrogen dioksida walaupun masih di bawah batas baku mutu akan tetapi angkanya hampir mencapai baku mutu yang telah ditetapkan. Diperlukannya usaha untuk meminimalisir polusi udara yang ada di lingkungan kita, khususnya untuk polusi udara yang berasal dari kendaraan bermotor. Solusi yang mungkin dilakukan untuk meminimalisir polusi udara yang disebabkan oleh gas buang kendaraan bermotor adalah dengan mengoptimalkan proses pembakaran yang terjadi pada mesin kendaraan. Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan CO_2 (karbon dioksida), H_2O (uap air), dan sedikit Nitrogen, tapi kenyataannya proses pembakaran di mesin tidak mencapai efisiensi yang tinggi atau biasa disebut dengan pembakaran yang tidak sempurna sehingga menghasilkan gas-gas sisa seperti CO , serta HC (hidrokarbon) dan gas oksigen yang tidak terbakar habis. Salah satunya disebabkan oleh pencampuran udara dan bahan bakar yang tidak homogen. Reaksi pembakaran pada kendaraan bermotor ini tentunya dipengaruhi oleh struktur molekul bahan bakarnya sehingga mampu bereaksi dengan oksigen secara keseluruhan.

Substansi-substansi yang ada di alam ini terdiri atas atom-atom yang berikatan satu sama lain. Atom-atom pun terdiri dari *electrons* dan inti atom yang mampu menghasilkan medan magnet alami. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa adanya pengaruh medan magnet external terhadap substansi yang ada di sekitarnya secara struktural. Seperti halnya substansi yang lain, *hydrocarbon* juga terdiri atas atom-atom *hydrogen* dan *carbon* yang berikatan dan memiliki medan magnet alaminya. Medan magnet eksternal yang kuat dapat mengubah struktur kimia *hydrocarbon* karena mampu mengubah

arah putaran electron *hydrogen* di dalam struktur *hydrocarbon* tersebut sehingga mampu berikatan dengan lebih banyak molekul oksigen dari sebelumnya.

Magnet *neodymium iron boron* merupakan salah satu *the highest performance magnet* atau magnet dengan kemampuan terbaik yang memiliki *energy product* ($BH_{\max}$) melebihi sepuluh kali energi magnet *ferrite* yang umum digunakan pada saat sekarang ini (Ozawa *et al*, 2003:806), dan seperti yang kita ketahui bahwa magnet terdiri dari kutub utara dan selatan dan begitu juga yang terjadi pada medan magnet yang dibangkitkan oleh *electron* yang ada pada atom-atom di alam ini, dan *hydrocarbon* termasuk salah satu di dalamnya. Oleh karena itu penulis tertarik untuk meneliti pengaruh kemagnetan *neodymium-iron-boron* pada bahan bakar terhadap tingkat emisi gas buang yang dihasilkan pada sepeda motor.

Pada saat penelitian, kendaraan yang akan digunakan sebagai objek penelitian adalah sepeda motor empat langkah. Maka penelitian ini diberi judul “Pengaruh Kemagnetan *Neodymium-Iron-Boron* Pada Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor Empat Langkah”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang diatas maka identifikasi masalahnya yaitu :

1. Emisi gas buang kendaraan menjadi salah satu penyebab utama polusi udara.

2. Polusi udara dapat menyebabkan penyakit pernapasan dan penyakit lain yang berbahaya.
3. Emisi gas buang mengandung polutan-polutan yang berbahaya, salah satunya dikarenakan oleh pembakaran yang tidak sempurna.
4. Pengaruh kemagnetan *neodymium-iron-boron* terhadap tingkat emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dan udara pada sepeda motor belum diketahui secara jelas.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, maka permasalahan dibatasi pada pengaruh kemagnetan *neodymium-iron-boron* pada bahan bakar terhadap emisi gas buang sepeda motor empat langkah.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah diatas maka rumusan permasalahnya adalah sebagai berikut.

1. Apakah kemagnetan *neodymium-iron-boron* berpengaruh terhadap tingkat emisi gas buang sepeda motor empat langkah?
2. Apakah perbedaan arah kutub magnet ini juga memiliki pengaruh yang berbeda terhadap tingkat emisi gas buang sepeda motor empat langkah?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dilaksanakan ini untuk:

1. Mengetahui pengaruh kemagnetan *neodymium-iron-boron* pada bahan bakar terhadap emisi gas buang sepeda motor empat langkah.
2. Mengetahui perbedaan tingkat emisi gas buang yang dihasilkan pada sepeda motor empat langkah dengan mengubah arah magnet *neodymium-iron-boron*.

F. Asumsi

Agar tujuan penelitian dapat dicapai sesuai harapan maka peneliti mengasumsikan beberapa keadaan pada penelitian ini, yaitu:

1. Mesin yang diuji sudah mewakili mesin yang ada di lapangan.
2. Alat ukur yang dipergunakan adalah alat ukur yang telah distandarkan dan dalam kondisi baik serta layak digunakan.
3. Temperatur udara saat melakukan penelitian dianggap sama.
4. Kualitas bahan bakar yang digunakan disetiap percobaan adalah sama.
5. Kondisi operasi putaran mesin atau RPM (Revolutions Per Minute) pada waktu pengukuran dianggap telah mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.

G. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai wacana dan referensi penelitian lebih lanjut dalam bidang teknik otomotif.
2. Untuk menambah khazanah ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang otomotif mengenai cara untuk mengurangi tingkat emisi gas buang pada kendaraan bermotor.
3. Memberikan informasi kepada masyarakat akademisi tentang pengaruh kemagnetan *neodymium-iron-boron* terhadap tingkat emisi gas buang pada kendaraan.
4. Sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar sarjana pendidikan di Universitas Negeri Padang, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Otomotif.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Deskripsi teori

1. Kemagnetan

Kata magnet memang sudah tidak asing lagi di telinga kita, mulai dari *handphone*, tablet, computer, mainan anak-anak, hingga peralatan-peralatan keseharian kita pada umumnya menggunakan magnet. “A *permanent magnet is an object made from a material that is magnetized and creates its own persistent magnetic field*” (Wikipedia, 2015), sedangkan menurut Ali (2011:1), “A *permanent magnetic material is the material that maintains a permanent magnetic field without an energy input*”. Jadi *permanent magnet* merupakan material yang dapat mempertahankan medan magnetnya tanpa membutuhkan *energy input* atau *energy* dari luar.

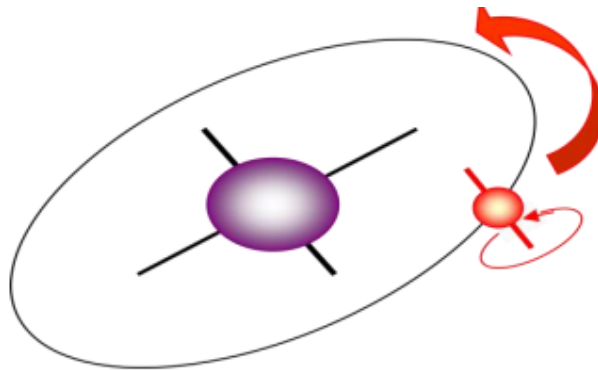
Berbicara tentang magnet tentunya tidak lepas dari yang namanya *magnetism* atau kemagnetan. Gaya tarik-menarik dan tolak-menolak yang dimiliki magnet inilah yang dimanfaatkan oleh berbagai macam industri pada saat sekarang ini. Konsep-konsep kemagnetan seperti levitasi pun bukan menjadi hal yang mencengangkan bagi kita seiring dengan majunya teknologi pada masa sekarang, bahkan magnet pun mampu mempengaruhi reaksi kimia, hal ini akan dibahas nanti, sebelum itu akan penulis paparkan apa yang dimaksud dengan kemagnetan, menurut Callister dan Rethwisch (2010:801), “*Magnetism, the phenomenon by which materials assert an attractive or repulsive force or influence on other materials, has been*

known for thousands of years”, dan Ali (2011:12) berpendapat, “Over the years it was established that magnetism is a property of certain materials by which they develop a field of force around them known as Magnetic Field”, sedangkan menurut Judge (2012:25), “Magnetism is a property of a material describing its response to an induced magnetic field”. Lewis (2013) juga menyebutkan bahwa “Magnetism refers to physical phenomena arising from the force between magnets, objects that produce fields that attract or repel other objects”.

Berdasarkan pernyataan di atas dapat diketahui bahwa *magnetism* atau kemagnetan merupakan sifat material yang mampu membangkitkan gaya di sekitar mereka yang dikenal sebagai *magnetic field* atau medan magnet sehingga mampu menarik atau menolak objek lain.

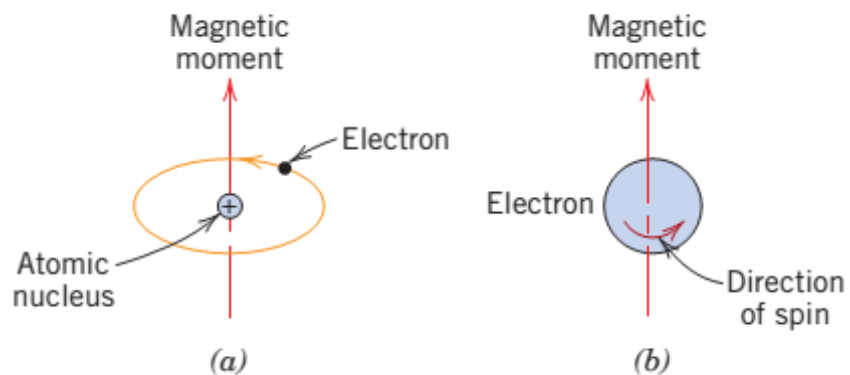
Atom merupakan unsur penyusun substansi-substansi yang ada di alam ini, mulai dari substansi yang kita kenal sebagai benda mati hingga DNA kita pun tersusun atas atom-atom, termasuk juga *hydrocarbon* yang menjadi bahan bakar kendaraan. Pada dasarnya atom-atom memiliki sifat magnet karena adanya angular momentum yang dimiliki oleh partikel-partikel dasar penyusunnya (Yamaguchi & Tanimoto, 2006:2). Menurut Bécherrawy (2012:197), “*The most important contribution to magnetism comes from the electron spin*”, dan hal ini juga ditambahkan oleh Ali (2011:12) bahwa “*Each spinning electron behaves as a magnetic dipole and has a dipole moment called Bohr Magnetron*”. Jadi medan magnet yang ada pada sebuah material dibangkitkan oleh perputaran *electron*, dan kontribusi yang paling

penting berasal dari perputaran yang disebut dengan *spin*. Ilustrasi gerak orbital dan *intrinsic spin* pada *electron* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Gerak orbital dan *intrinsic spin* pada *electron*
Sumber: Ali (2011:12)

Dengan adanya gerak orbital dan *spin* pada *electron* sehingga mampu membangkitkan medan magnet. Arah medan magnet yang dibangkitkan oleh gerak ini dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Arah medan magnet yang dihasilkan oleh gerak orbital dan *spin*
Sumber: Callister dan Rethwisch (2010:805)

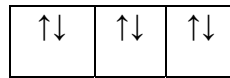
Menurut Edvard (2011), “*All materials have magnetic properties*” Pendapat lainnya dikemukakan oleh Lewis (2013) bahwa “*All materials experience magnetism, some more strongly than others. Permanent magnets, made from materials such as iron, experience the strongest effects, known as ferromagnetism*”. Pada dasarnya setiap material memiliki sifat magnet. Karena bagian terkecil dari material adalah atom, maka penulis akan mengerucutkan pembahasan ini pada kemagnetan yang terjadi pada atom. Secara garis besar magnetisme pada atom dibagi atas beberapa tipe yaitu, *diamagnetism*, *paramagnetism*, dan *ferromagnetism* (Knoepfel, 2000:484).

a. *Diamagnetism*

Ketika *electrons* yang menyusun atom memenuhi orbitalnya dengan pasangan electron lainnya, maka sifat magnet dipole yang dimiliki masing-masing electron akan saling meniadakan, itulah yang disebut dengan *diamagnetic*. Menurut Swaminathan (2005:2) bahwa “*if the electrons are already paired, the atoms resist the formation of a dipole and this resistance causes the atoms to move in the direction of decreasing magnetic field strength, known as diamagnetism*”.

Pada dasarnya setiap material yang ada di alam ini memiliki sifat *diamagnetic*. Menurut Nagaraju (2005:13) “*All materials have a diamagnetic effect; however, it is often the case that the diamagnetic effect is masked by the larger paramagnetic or ferromagnetic term*”, dan Reis (2013:9) juga menambahkan bahwa, “*Diamagnetism: It is*

intrinsic to all of the materials". Ali (2011:17) mengatakan "*Diamagnetism occurs in all materials, but its negative effect is cancelled by positive magnetic effects*". Berdasarkan pendapat di atas dapat diketahui bahwa pada dasarnya setiap material mempunyai sifat *diamagnetic*, akan tetapi sifatnya tertutupi oleh kondisi *paramagnetic* dan *ferromagnetic*. Contoh konfigurasi electron pada sub kulit p seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Contoh pengisian *pairs electron* pada sub kulit p

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa setiap *electron* memiliki pasangan (*paired electron*), sehingga masing-masing *dipole* saling meniadakan gaya magnet. Nolting dan Ramakanth (2009:87) berpendapat, "*A diamagnet is always repulsed by a magnetic pole*". Pendapat di atas dipertegas oleh Ali (2011:17) bahwa "*A weak, negative, repulsive reaction of a material to an applied magnetic field is known as Diamagnetism*", sedangkan menurut Emspak (2014), "*If you're looking to levitate objects, diamagnetic materials are the way to go. These materials are magnetized when in a field, but they generate fields opposite to the one in which they are located*", dan menurut Knoepfel (2000:485), "*Diamagnetism, which is obtained when a magnetic field is switched on over certain materials, will manifest itself as a negative susceptibility and as a tendency to push the material towards lower*

fields”. Jadi sifat *diamagnetic* sejatinya akan tolak menolak dengan medan magnet eksternal yang ada di sekitarnya atau bergerak ke arah medan magnet terlemah yang ada di sekitarnya.

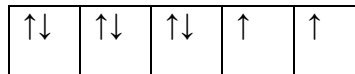
b. *Paramagnetism*

Ketika *electron* mengisi penuh setiap orbital secara berpasangan (*paired electron*) maka fenomena magnetisme yang terjadi bisa disebut sebagai *diamagnetism*. Jika tidak semua orbital terisi oleh *electron* yang berpasangan, atau sebagian orbital terisi oleh *unpairs electron* maka akan menghasilkan fenomena yang berbeda, Moliton (2007:136) mengatakan, “*Paramagnetism also may be caused by electron spin and is in this case called spin paramagnetism, or Pauli's paramagnetism. Free unpaired electrons, by way of their spin and the resulting spin magnetic moment, can couple with a magnetic field of intensity B*”. Hal ini juga diungkapkan oleh Stefanita (2008:3) bahwa “...*paramagnetism is also attributed to unpaired electron spins*”, dan menurut Swaminathan (2005:2),

“Paramagnetism is a result of unpaired electrons within an atom that can cause a magnetic dipole to form in the presence of a magnetic field. And, as a result, in the presence of a magnetic field this effect causes the fluid to be drawn in the direction of increasing magnetic field strength”.

Berdasarkan pendapat di atas maka dapat diketahui bahwa paramagnetisme terjadi ketika terdapat *electron* yang tidak berpasangan pada orbital atom, dan gaya magnet yang terjadi akan mendekati arah medan magnet yang semakin kuat atau bisa disebut bahwa sifat

paramagnetisme ini akan tarik menarik dengan medan magnet sekitarnya, hal ini berlawanan dengan sifat diamagnetisme. Ilustrasi orbital yang diisi oleh beberapa *unpaired electron* seperti pada Gambar 5, dicontohkan pada sub kulit d yang terdiri atas 5 orbital



Gambar 5. Contoh pengisian *unpaired electron* pada sub kulit d

Dari Gambar 5 dapat dilihat 2 orbital diisi oleh 2 *unpaired electron*, sehingga atom dengan konfigurasi ini memiliki sifat *paramagnetic*.

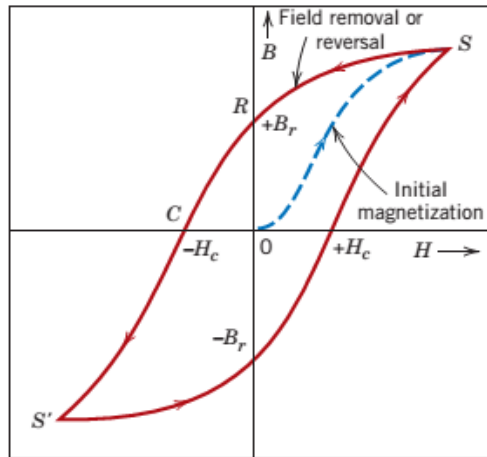
c. *Ferromagnetism*

Sama halnya dengan *paramagnetic*, *ferromagnetic* juga memiliki konfigurasi electron yang tidak berpasangan pada orbitalnya sehingga mampu menghasilkan gaya magnet. Menurut Moliton (2007:149), “*Ferromagnetism only occurs with elements that have their internal electronic layers incomplete, as is the case with iron which has an incomplete 3d orbital*”, dan Stefanita (2008:3) mengatakan,

“*Ferromagnetic materials contain spontaneously magnetized magnetic domains where an individual domain’s magnetization is oriented differently with respect to the magnetization of neighboring domains. The spontaneous domain magnetization is a result of unpaired electron spins from partially filled shells*”.

Walaupun sama-sama memiliki *unpaired electron*, *ferromagnetic* dan *paramagnetic* memiliki perbedaan, seperti yang dinyatakan oleh Bellac (2006: 444) bahwa, “*If the alignment is produced by an external magnetic field and disappears in the absence of this field, the material is paramagnetic. If the alignment persists in the absence of the field, the*

material is ferromagnetic”. Hal ini dapat dinyatakan dengan grafik seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik *hysteresis*
Sumber: Callister dan Rethwisch (2010:816)

Grafik *hysteresis* ini menunjukkan, ketika substansi yang memiliki sifat *ferromagnetic* diberi gaya magnet dari luar maka sifat kemagnetannya akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya gaya magnet yang diberikan, akan tetapi ketika gaya magnet external dihilangkan, kemagnetannya akan tetap ada. Kemagnetan ini akan hilang ketika diberi gaya magnet yang berlawanan dari arah sebelumnya.

2. Neodymium-Iron-Boron

Material tanah langka umumnya terdiri dari logam-logam transisi dalam kategori lantanida pada sistem periodik unsur. Material tanah langka merupakan salah satu logam yang sangat diperlukan dalam bidang teknologi karena sifat kimia dan fisiknya yang unik. Seperti pernyataan Du dan Graedel (2011:2) bahwa,

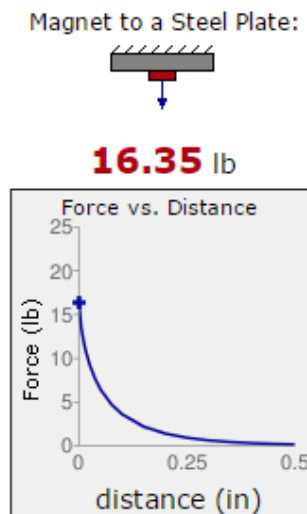
“The rare earth elements (REE) are a group of co-occurring metals (yttrium, the 15 elements in the lanthanide series, and sometimes scandium). Because of their unique physical-chemical properties they are widely used in a growing number of applications and have become indispensable for a wide variety of emerging technologies during the past 3 decades”.

Neodymium merupakan salah satu material tanah langka yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan magnet *neodymium-iron-boron*. Magnet *neodymium iron boron* merupakan salah satu *the highest performance magnet* atau magnet dengan kemampuan terbaik yang melebihi sepuluh kali energi magnet *ferrite* yang umum digunakan pada saat sekarang ini (Ozawa *et al*, 2003:806).

Menurut Patel, Rathod dan Patel (2014:30), *“Ferrite magnets also considered as strong magnets but not as strong as neodymium magnets”*, dan Judge (2012:145) mengatakan, *“Permanent Magnets, especially high performance materials such as Neodymium/Iron/Boron, have exceptionally high magnetic flux densities, and can generate more power in low weight, small sized systems”*. Kekuatan magnet yang dimiliki oleh magnet *NdFeB* ini tentunya sangat menguntungkan, dengan ukuran yang kecil mampu menghasilkan kemagnetan yang cukup kuat. *Neodymium-iron-boron* juga memiliki ketahanan terhadap demagnetisasi dibanding material magnet lainnya, karena keunggulannya inilah sehingga magnet *neodymium-iron-boron* menjadi magnet yang umumnya digunakan dalam bidang teknologi. Seperti yang dinyatakan oleh Grujić *et al* (2011:517), *“One of the most important characteristics of the used type of Nd-Fe-B rare-earth*

magnetic material is high values of remanence and coercivity, which have a direct influence on high values of maximum energy product”.

Kekuatan magnet *neodymium-iron-boron* ini ditandai dengan huruf N. “*Neodymium magnets are graded according to their maximum energy product, which relates to the magnetic flux output per unit volume. Higher values indicate stronger magnets and range from N35 up to N52*” (Wikipedia, 2015). Saat sekarang ini magnet NdFeB yang tersedia yaitu mulai dari N35 sampai N52, semakin besar angka yang tertera setelah huruf N maka semakin besar kekuatan magnet tersebut. Untuk magnet dengan *grade* N42 dengan ukuran 12mm x 12mm x 12 mm saja mampu menghasilkan kekuatan sampai dengan 16,35 lbf atau setara dengan 7,41 kgf. Berikut ini grafik kekuatan NdFeB dengan grade N42 berukuran 12mm x 12mm x 12 mm pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Kekuatan NdFeB grade N42 (12x12x12) mm
Sumber:Kjmagnetics (2015)

Berikut ini perbedaan magnet NdFeB dengan magnet lainnya, seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Sifat Beberapa Jenis Material Magnet

Material	Remanence Br (T)	Coercivity Hc (kA m ⁻¹)	(BH) max (kJ m ⁻³)
Alnico	1,30	52	44
Barrium ferrite	0,35	144	26
Vicalloy II	1,1	22	14
Neodymium iron boron	1,35	780	320
Samarium cobalt	0,92	690	200
Platinum cobalt	0,64	400	76

Sumber : McCurrie (1994:9)

Remanence adalah magnetisasi yang masih tersisa pada sebuah material pada ketiadaan medan magnet eksternal. *Coercivity* merupakan kemampuan material magnet untuk bertahan dari medan magnet lain agar tidak terjadi demagnetisasi pada material tersebut (Callister dan Rethwisch 2010:816). $(BH)_{\max}$ atau *energy product* merupakan kekuatan medan magnet pada titik maksimum sebuah material magnet. Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui nilai *remanence*, *coercivity* dan $(BH)_{\max}$ magnet *neodymium-iron-boron* melebihi magnet *barrium ferrite* dan magnet lainnya.

3. Bahan Bakar Bensin

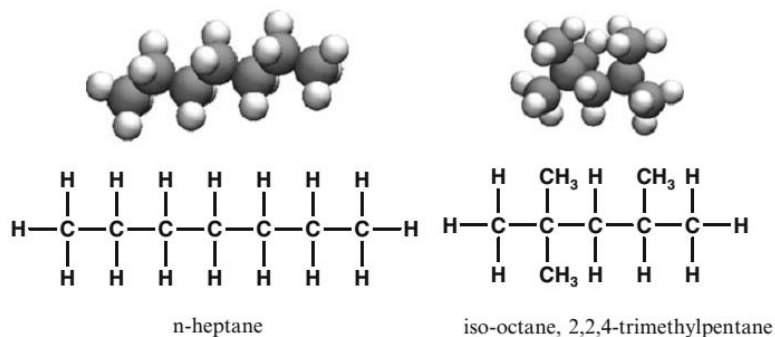
Bahan bakar bensin merupakan salah satu jenis bahan bakar yang diperuntukkan bagi kendaraan bermotor. Halderman dan Linder (2012:81) mengatakan bahwa “*Gasoline is a term used to describe a complex mixture of various hydrocarbons refined from crude petroleum oil for use as a fuel in engines*”, dan menurut Bonnick dan Newbold (2011:74), “*Fuels for*

motor vehicles, such as petrol and diesel fuel, are principally hydrocarbons. That is, they consist largely of the two elements hydrogen and carbon”.

Berdasarkan pendapat di atas dapat diketahui bahwa *gasoline* atau bensin merupakan bahan bakar yang terdiri dari molekul-molekul *hydrocarbon* dan digunakan untuk bahan bakar mesin. Bahan bakar bensin tidak terlepas dengan angka oktan atau *octane number*. Bilangan oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan (wikipedia, 2013). Menurut Bonnick dan Newbold (2011:75), *“The octane rating of a fuel is a measure of the fuel’s resistance to knock. A high octane number indicates a high knock resistance”*, sedangkan menurut Stone dan Ball (2004: 45-46), *“Fuels for spark ignition engines should vaporize readily and be resistant to self-ignition, as indicated by a high octane rating”*. Jadi dapat diketahui bahwa angka oktan merupakan angka yang menunjukkan tingkat ketahanan bensin terhadap *self-ignition* agar tidak terjadi *knocking* pada engine.

Garrett, Newton dan Steeds (2001:597) menyatakan, *“The octane number is defined as the lowest percentage of iso-octane mixed with n-heptane that detonates at the same compression ratio as does the fuel under test. iso-Octane (C_8H_{18}) is taken as having an octane number of 100 and n-heptane (C_7H_{16}) of zero”*. Menurut Halderman dan Linder (2012:86), *“If a gasoline tested had the exact same antiknock characteristics as isooctane, it was rated as 100-octane gasoline. If the gasoline tested had only 85% of the antiknock properties of isooctane, it was rated as 85 octane. Remember,*

octane rating is only a comparison test”. Berdasarkan pendapat di atas dapat diketahui bahwa angka oktan dapat didefinisikan sebagai persentase terendah *isooctane* yang dicampur dengan *n-heptane* yang meledak dengan perbandingan kompresi yang sama dengan bahan bakar ketika dilakukan uji coba. Jika hasil uji coba menunjukkan bahwa bahan bakar bensin mempunyai karakteristik *antiknock* yang sama dengan *isooctane* maka bensin tersebut memiliki tingkat oktan 100, akan tetapi jika hasil uji coba menunjukkan 85% karakteristik *antiknock* yang sama dengan *isooctane*, maka bensin tersebut memiliki angka oktan 85. Salah satu struktur kimia *n-heptane* dan *isooctane* seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Struktur *n-heptane* dan *isooctane*
 Sumber : Rakowski, Eckert, dan Witt (2012:120)

4. Emisi Gas Buang

Pengertian emisi menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah “Pemancaran cahaya, panas, atau elektron dari suatu permukaan benda padat atau cair”, dan menurut *oxford dictionary* adalah “*The production and discharge of something, especially gas or radiation*”. Dari pernyataan di atas dapat dicerna bahwa kendaraan bermotor selama proses kerjanya mampu menghasilkan beberapa emisi seperti emisi bunyi, panas, gas buang,

dan mungkin masih banyak jenis emisi lainnya yang dihasilkan. Penulis tidak akan membahas jenis-jenis emisi ini satu persatu, karena fokus kita sekarang adalah tentang emisi gas buang pada kendaraan bermotor.

Hill (2010:377) mengatakan, *“Today we depend almost entirely on gasoline-powered motor vehicles, and it is they that pollute”*. Polusi udara yang dihasilkan dari emisi gas buang kendaraan bermotor ini merupakan masalah klasik yang selalu menjadi bahan perhatian masyarakat khususnya di daerah perkotaan seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan kesehatan. Besarnya dampak yang dihasilkan oleh emisi gas buang ini disebutkan oleh Dora *et al* (2011:2) dalam bukunya bahwa *“Fuel combustion produces a number of air pollutants substances that have been linked to ill health and premature mortality.”*, dan Wells (2010:32) juga mengatakan bahwa,

“Much of the focus on the human health costs of automobility has been on urban air quality and toxic exhaust emissions. In 1998 the World Health Organization (WHO) estimated that in the European Union there were some 80.000 premature deaths per year because of atmospheric pollution from cars, with an additional economic burden caused by hospitalization for respiratory and cardiovascular diseases and effects on patients with chronic bronchitis and asthma”.

Dari beberapa pernyataan di atas dapat diketahui bahwa dampak polusi udara yang berasal dari gas buang kendaraan sangat berbahaya bagi kesehatan kita. Emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor disebabkan oleh beberapa faktor, *“Vehicle emissions are affected by driving patterns, traffic speed and congestion, altitude, temperature, and other*

ambient conditions; by the type, size, age, and condition of the vehicle's engine; and, most importantly, by the emissions control equipment and its maintenance"(Faiz, Weaver&Walsh, 1996:25).

Sejatinya setiap *reactance* yang bereaksi akan menghasilkan *product*, begitu juga dengan pembakaran *hydrocarbon* pada kendaraan bermotor. Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan gas buang berupa karbon dioksida, uap air, dan sedikit nitrogen, lain halnya ketika terjadi pembakaran yang tidak sempurna pada kendaraan sehingga menghasilkan gas-gas lain yang sangat berbahaya. Seperti yang dinyatakan oleh Hill (2010:11) bahwa selama proses pembakaran, hidrokarbon bereaksi dengan oksigen yang ada di atmosfer dan menghasilkan karbon dioksida, uap air, dan nitrogen, akan tetapi pembakaran *hydrocarbon* pada ruang bakar jauh dari efisiensi 100% sehingga menghasilkan gas-gas lain yang berasal dari pembakaran yang tidak sempurna tersebut, dan Bonnick (2008:188) juga mengatakan, *"Exhaust gases are the products of combustion. Under ideal circumstances, the exhaust products would be carbon dioxide, steam (water) and nitrogen. However, owing to the large range of operating conditions that engines experience, exhaust gas contains several other gases and materials..."*.

Pembakaran yang tidak sempurna disebabkan oleh beberapa faktor, hal ini dijelaskan oleh Garrett, Newton, dan Steeds (2001:350) bahwa,

"With petrol, the stoichiometric air:fuel ratio is approximately 14.7:1 by weight, though such a mixture will not burn as completely as one might expect. This is because, in the extremely short time available, the vaporous and gaseous constituents are unable to form a perfectly homogeneous, or intimate, mixture in the combustion chamber. As a result, the exhaust gas tends to contain traces of

oxygen, carbon monoxide and some unburned and partially burned hydrocarbons”

Tanet *al* (2013:216) mengatakan, *“Adequate atomization enhances mixing and complete combustion in a direct injection (DI) engine and therefore it is an important factor in engine emission and efficiency”*, dan Lejda dan Woś (2012:68) juga menyebutkan, *“As far as a quality of combustible mixture is concerned, both the appropriate fuel atomization and fuel mixing with the air charge is important here,...”*. Pernyataan-pernyataan diatas juga diperkuat oleh Halderman dan Linder (2012:85) bahwa *“In theory, this ratio for gasoline is an air-fuel mixture of 14.7 to 1. In reality, the exact ratio at which perfect mixture and combustion occurs depends on the molecular structure of gasoline, which can vary”*. Dengan mengabaikan kondisi external seperti pola mengemudi, keadaan jalan, dan hal lainnya, berdasarkan pernyataan di atas dapat diketahui bahwa pembakaran yang tidak sempurna disebabkan oleh beberapa faktor internal yaitu, waktu pembakaran yang sangat singkat, dan tidak homogenya pencampuran bahan bakar dan udara di ruang bakar. Pengatomisasian bahan bakar dan udara secara tepat dapat meningkatkan proses mixing dan pembakaran yang sempurna, proses ini juga bergantung pada struktur molekul bahan bakar tersebut.

Pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan gas-gas selain karbon dioksida dan uap air, gas-gas tersebut adalah CO, NO_x, HC, SO₂, dan partikel debu (Bonnick, 2008:188). Agar lebih memperjelas pemaparan

tentang emisi gas buang ini, berikut dijelaskan secara ringkas tentang jenis-jenis gas yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut.

a. Karbon Monoksida

Karbon monoksida merupakan senyawa gas yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna, tidak berwarna, tidak berbau, dan mudah terbakar. Seperti yang dijelaskan oleh Hill (2010:119),

“CO is a colorless, odorless, flammable gas, a product of incomplete combustion produced when a carbon-containing material is burned. Only under ideal conditions, with an excess of oxygen and optimal burning conditions, is carbon completely oxidized to carbon dioxide (CO₂)”.

Menurut Cheremisinoff(2002:273),

“Carbon monoxide is one of the most commonly encountered toxic gases and may result from many industrial processes as well as from automobile or truck exhaust. Since pure CO is colorless, odorless, and tasteless, the senses cannot be relied on to give warning of its presence”.

Halderman dan Linder (2012:311) juga memberikan pemaparannya tentang karbon monoksida yaitu,

“Carbon monoxide (CO) is unstable and will easily combine with any oxygen to form stable carbon dioxide (CO₂). The fact that CO combines with oxygen is the reason that CO is a poisonous gas (in the lungs, it combines with oxygen to form CO₂ and deprives the brain of oxygen)”.

Dari beberapa pendapat di atas dapat diketahui bahwa karbon monoksida merupakan gas beracun hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna, gas ini tidak berbau, tidak berwarna, dan mudah terbakar, karena sifatnya inilah sehingga keberadaan gas karbon

monoksida tidak dapat diketahui tanpa menggunakan peralatan pendeteksi. Karbon monoksida juga mudah berikatan dengan oksigen sehingga jika masuk ke paru-paru, karbon monoksida ini akan berikatan dengan oksigen dan mengurangi kadar oksigen ke otak.

Keberadaan karbon monoksida di udara tentunya sangat berbahaya bagi kesehatan, hal ini berbanding lurus dengan tingkat konsentrasinya di udara yang kita hirup. Seperti yang diterangkan oleh Carel (1998:59) yaitu,

“The early clinical signs and symptoms of CO poisoning are shortness of breath, tachypnea (rapid breathing), headache, dizziness, impaired judgment (confusion), and lack of motor coordination. All these signs are the result of brain and nervous system hypoxia. Nausea, vomiting, and diarrhea may appear later as may cardiac arrhythmias, pulmonary edema, and finally loss of consciousness and death. The symptoms may occur after only a few breaths of air contaminated with carbon monoxide. If CO concentration in the ambient air is high enough, rapid loss of consciousness and death may occur within a short time”.

Selain itu, bahaya karbon monoksida bagi kesehatan juga dijelaskan oleh Hill (2010:60) bahwa *“When carbon monoxide (CO) is inhaled, it binds to hemoglobin much more strongly than oxygen and so blocks the oxygen binding, lowering the amount of oxygen available to the body. Too much blocking of hemoglobin by CO can lead to death”*. Harrison (2006:198) juga turut menjelaskan, *“...carbon monoxide is known to bind to haemoglobin (thereby reducing oxygen delivery to key organs) and may have important implications for pregnant women, the developing fetus being particularly vulnerable”*. Dari beberapa pernyataan diatas

tentu dapat dipahami betapa berbahayanya karbon monoksida bagi kesehatan manusia.

Penjelasan sebelumnya telah menjelaskan bahwa karbon monoksida dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna, hal ini juga diperkuat oleh pernyataan Bonnick dan Newbold (2011:77) bahwa *“This is produced by incomplete combustion arising from lack of oxygen”*. Penjelasan ini menjadi acuan untuk mengetahui tindakan seperti apa yang harus dilakukan agar proses pembakaran dapat mendekati sempurna sehingga mampu menurunkan kadar karbon monoksida pada gas buang kendaraan bermotor.

b. Karbon Dioksida

Senyawa karbon dioksida tentunya sudah tidak asing lagi di telinga kita, senyawa yang dihasilkan dari proses pembakaran ini merupakan salah satu sumber polusi udara yang menjadi perhatian dunia saat ini, dampaknya yang memang tidak terlalu berbahaya bagi kesehatan manusia secara langsung ini membuat kita lengah terhadap dampak lain yang bisa ditimbulkan oleh konsentrasi karbon dioksida yang berlebihan di udara bebas. Untuk mengetahui tentang karbon dioksida, sumbernya, dan dampaknya bagi lingkungan, maka akan penulis paparkan pendapat ahli yang mendukung pernyataan ini. Menurut Spellman (2009:21) bahwa,

“Carbon dioxide (CO₂) is a colorless, odorless gas (although it is felt by some persons to have a slight pungent odor and biting taste), is slightly soluble in water and denser than air (one and

half times heavier than air), and is slightly acidic. Carbon dioxide gas is relatively nonreactive and nontoxic. It will not burn, and it will not support combustion or life.”

Secara umum, karbon dioksida merupakan hasil dari respirasi makhluk hidup dan *product* dari sebagian besar pembakaran material organik. Seperti yang dijelaskan oleh Hill (2010:134) *“Recall that with efficient combustion, most organic material is converted to carbon dioxide and water, with little particulate matter and soot”*, dan Hill (2010:187) juga melanjutkan bahwa,

“Natural CO₂ emissions sources are large, releases from oceans and land; these include plant respiration; microbe respiration as they decompose dead plant and animal matter; and animal expiration, including human expiration. Volcanoes are, periodically, a large natural source”.

Pernyataan di atas juga diperkuat oleh Halderman dan Linder (2012:311) bahwa *“Carbon dioxide (CO₂) is the result of oxygen in the engine combining with the carbon of the gasoline”*, dan International Energy Agency (2010:21) mengatakan, *“Carbon dioxide emissions are produced when carbon based fuels are burned”*.

Memang produksi karbon dioksida tidak hanya berasal dari proses pembakaran bahan bakar, tapi juga berasal dari alam dan hasil dari respirasi makhluk hidup, akan tetapi sebagian besar karbon dioksida yang ada di alam dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Walaupun karbon dioksida tidak termasuk kepada emisi yang berbahaya bagi kesehatan manusia secara langsung, senyawa ini tetap berbahaya bagi lingkungan dan sejatinya dapat berdampak buruk bagi kelangsungan

hidup manusia dikarenakan karbon dioksida merupakan kontributor utama penyebab efek rumah kaca. *“Whilst CO₂ is not treated as a harmful emission, it is thought to be a major contributor to the greenhouse effect and efforts are constantly being made to reduce the amount of CO₂ that is produced”* (Bonnick & Newbold, 2011:77). Hal ini juga diperkuat oleh Hill (2010:55) *“CO₂ is the major greenhouse gas contributing to global climate change”*.

Mengurangi konsumsi bahan bakar merupakan satu-satunya cara agar kadar CO₂ dari hasil pembakaran pada kendaraan dapat berkurang.

“The CO₂ emissions from a motor vehicle powered by petroleum-based fuels are directly related to its fuel consumption. Therefore, a reduction of CO₂ emissions from motor vehicles – using conventional or alternative fossil fuels – can only be achieved by a reduction in their fuel consumption” (Delsey et al, 2004:41).

c. Nitrogen Oksida

Mungkin dikalangan awam, udara yang ada di alam ini sebagian besar terdiri dari gas O₂ tapi kenyataannya tidak demikian, sekitar 70% kandungan udara yang ada di alam adalah nitrogen dan kemudian disusul dengan 20% lebih kandungan oksigen. Seperti yang ditulis oleh Spellman (2009:4) dalam bukunya bahwa *“The approximate composition of dry air is, by volume at sea level, nitrogen 78%, oxygen 21% (necessary for life as we know it), argon 0.93%, and carbon dioxide 0.03%, together with very small amounts of numerous other constituents”*, dan hal ini juga diperkuat oleh Bonnick dan Newbold (2005:128) bahwa *“Atmospheric air contains approximately 77% nitrogen and 23% oxygen by weight”*.

Konsentrasi nitrogen di udara memang tidak menjadi kekhawatiran bagi kita, tetapi ketika terjadi ikatan antara nitrogen dan oksigen maka molekul-molekul ini akan membentuk oksida nitrogen yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Hal ini dapat terjadi jika terpenuhi beberapa syarat, salah satunya yaitu reaksi harus mencapai suhu yang tinggi. *But NO_x gases are formed primarily from a high-temperature reaction between atmospheric*”(Hill, 2010:128). Suhu tinggi yang dibutuhkan oleh oksigen dan nitrogen untuk berikatan ini juga dinyatakan oleh Bonnick dan Newbold (2011:76) bahwa “*Oxides of nitrogen are formed when combustion temperatures rise above 1800 K*”. Hal yang hampir serupa dijelaskan oleh Harrison (2006:13) bahwa,

“However, there is a further process in which atmospheric nitrogen and oxygen are combined during high-temperature combustion to form oxides of nitrogen. This occurs in all high-temperature combustion processes and explains why road traffic and electricity generation tend to be among the predominant sources of these gases”.

Umumnya kadar oksida nitrogen yang ada di alam berasal dari gas buang kendaraan. Malińska dan Świątek (2010:178) mengatakan, “*Nitrogen oxides are emitted to the atmosphere mainly from the combustion of fossil fuels (e.g. during power generation) and from transportation*”. Hill (2010:128) juga mempertegas bahwa, “*The major source of NO_x is motor vehicles, including off-road vehicles such as construction equipment*”.

Beberapa oksida nitrogen yang dapat terbentuk yaitu N₂O, NO, N₂O₃, NO₂, N₂O₄, dan N₂O₅. Dari enam bentuk oksida nitrogen yang

ada, nitrogen dioksida dan nitrogen tetraoksida merupakan *product* pembakaran yang sempurna, sedangkan nitrogen oksida merupakan hasil dari pembakaran yang tidak sempurna, seperti yang dinyatakan oleh Spellman (2009:19) bahwa,

“There are six oxides of nitrogen: nitrous oxide (N_2O), nitric oxide (NO), dinitrogen trioxide (N_2O_3), nitrogen dioxide (NO_2), dinitrogen tetroxide (N_2O_4), and dinitrogen pentoxide (N_2O_5). Nitric oxide, nitrogen dioxide, and nitrogen tetroxide are fire gases. One or more of them is generated when certain nitrogenous organic compounds (polyurethane) burn. Nitric oxide is the product of incomplete combustion, whereas a mixture of nitrogen dioxide and nitrogen tetroxide is the product of complete combustion”.

Menurut Halderman dan Linder (2012:311) *“An oxide of nitrogen (NO) is a colorless, tasteless, and odorless gas when it leaves the engine, but as soon as it reaches the atmosphere and mixes with more oxygen, nitrogen oxides (NO_2) are formed”*. Selain itu Pulkrabek (1997:31) juga menjelaskan bahwa *“Oxides of nitrogen are created in an engine when high combustion temperatures cause some normally stable N_2 to dissociate into monatomic nitrogen N , which then combines with reacting oxygen”*. Berdasarkan beberapa pernyataan di atas, dapat disimpulkan bahwa oksida nitrogen merupakan gas yang memiliki sifat tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Sumber oksida nitrogen pada umumnya berasal dari gas buang kendaraan. Gas ini akan bereaksi dengan oksigen ketika suhu reaksi mencapai 1800 K, suhu yang tinggi menyebabkan N_2 yang pada dasarnya bersifat stabil kemudian terpisah menjadi atom nitrogen sehingga mampu berikatan dengan oksigen.

Oksida nitrogen merupakan senyawa yang berbahaya bagi kesehatan kita, Sher (1998:29) menjelaskan bahwa NO dan NO₂ bisa mengakibatkan iritasi mata, kerongkongan, dan paru-paru. Gas-gas ini juga merupakan polutan utama penyebab kabut *photo* kimia dan hujan asam. Hal ini juga turut dipertegas oleh Hill (2010:128), “*Health impacts of NO_x and its aerosols Direct exposure to NO_x irritates the lungs, aggravates asthma, and lowers resistance to infection*”

Menurut Garret, Newton, dan Steeds (2001:351),

“Oxides of nitrogen are generated by high temperatures in the combustion chamber, so their output can be influenced by some aspects of carburation. For instance, if heat is supplied to assist vaporisation of the mixture, this will be reflected in higher combustion temperatures, and weak mixtures burn hotter than rich ones”.

Jadi dapat dipahami bahwa peningkatan oksida nitrogen yang berasal dari gas buang kendaraan dapat dipengaruhi oleh aspek karburasi.

d. Hidrokarbon

Sebagaimana yang diketahui, hidrokarbon merupakan molekul yang terdiri dari atom-atom *carbon* dan *hydrogen*, dan merupakan molekul-molekul penyusun *gasoline* atau yang biasa dikenal dengan bensin. *Hydrocarbon* seharusnya terbakar habis dan beraksi membentuk molekul lain, tetapi karena pembakaran yang tidak sempurna menyebabkan adanya *hydrocarbon* yang tidak terbakar. *Hydrocarbon* memang tidak secara total berasal dari *product* pembakaran yang tidak sempurna, tetapi juga dapat berasal dari penguapan yang terjadi pada sistem bahan bakar.

Seperti yang diterangkan oleh Garret, Newton, dan Steeds (2001:517)

bahwa,

“Unburnt hydrocarbons can come from evaporation from the carburettor float chamber and fuel tank vent as well as from inefficient combustion due in different instances to faulty ignition, inadequate turbulence, poor carburation, an over-rich mixture, or long flame paths from the point of ignition. Other factors are over-cooling, large quench areas in the combustion chamber, the unavoidable presence of a quench layer of gas a few hundredths of a millimetre thick clinging to the walls of the combustion chamber, and quenching in crevices such as the clearance between the top land of the piston and the cylinder bore.”

Bonnick dan Newbold (2011:75) juga menjelaskan bahwa *hydrocarbon* muncul pada gas buang berasal dari pembakaran yang tidak sempurna yang disebabkan oleh kurangnya oksigen. Menurut Pulkrabek (1997:278) *“The makeup of HC emissions will be different for each gasoline blend, depending on the original fuel components. Combustion chamber geometry and engine operating parameters also influence the HC component spectrum”*. Dari beberapa pernyataan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan bahwa *hydrocarbon* yang berasal dari gas buang kendaraan disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna dan kadar emisi yang terbentuk berbeda untuk setiap campuran bahan bakar, hal ini tergantung pada komponen bahan bakar yang digunakan. Komponen kimia bahan bakar yang terbentuk saat proses pembakaran tergantung pada struktur kimia bahan bakar itu sendiri. *“Chemical components which are formed during combustion process depend on chemical structure of the used fuel”*(Mitianiec,2012:4).

Dampak dari *hydrocarbon* ini tentunya bermacam-macam, mulai dari dampak terhadap lingkungan sampai dampak terhadap manusia yang berada disekitarnya. Seperti yang dijelaskan oleh Pulkrabek (1997:278) bahwa *hydrocarbon* merupakan salah satu senyawa yang bisa menyebabkan iritasi, penyebab kabut *photochemical*, dan merupakan salah satu senyawa pencetus kanker atau yang biasa dikenal dengan *carcinogen*. Hal yang hampir serupa juga dijelaskan oleh Hill (2010:136) bahwa, “*However, many drivers and pedestrians develop headaches and other symptoms if heavily exposed to volatile hydrocarbons in motor vehicle exhausts. Sensitive individuals may react with attacks of asthma or other respiratory problems*”.

e. Sulfur Dioksida

Sulfur dioksida merupakan senyawa yang tersusun atas atom sulfur dan dua atom oksigen. Berbeda dengan gas karbon monoksida, sulfur dioksida dapat dideteksi dari baunya dan warnanya. Menurut Cheremisinoff (2002:38), “*Sulfur dioxide (SO₂) is the predominant form found in the lower atmosphere. It is a colorless gas that can be detected by taste and smell in the range of 1,000 to 3,000 µg/m³. At concentrations of 10,000 µg/m³, it has a pungent, unpleasant odor*”.

Sulfur dioksida merupakan salah satu polutan yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Kadar sulfur dioksida di udara dapat menyebabkan iritasi paru-paru, kerongkongan dan mata, serta merupakan salah satu polutan penyebab hujan asam (Sher, 1998:29). Tentunya sudah menjadi

rahasia umum bahwa hujan asam dapat menurunkan pH di permukaan bumi, penyebab korosi, dan juga dapat merusak organisme-organisme lain. Pengaruh hujan asam belum terlalu terlihat di daerah yang curah hujannya tinggi, karena konsentrasi keasamannya pun akan berkurang seiring dengan jumlah hujan yang ada, seperti melarutkan sesendok garam dalam kolam renang, tentunya tidak akan terasa asin, berbeda halnya dengan melarutkan sesendok garam dalam segelas air. Efek hujan asam ini akan semakin menjadi masalah serius jika tidak segera ditanggulangi.

Harrison (2006:13) mengatakan,

“By far the main source of sulfur dioxide is the combustion of fuels containing sulfur. Fossil fuels, most notably coal and oil, contain varying amounts of sulfur according to their source but typically between 1% and 5%. On combustion, the sulfur in the fuel is converted almost quantitatively to sulfur dioxide”.

Berdasarkan pernyataan di atas dapat diketahui bahwa bahan bakar yang mengandung sulfur merupakan sumber utama sulfur dioksida di udara. *“In the air, sulfur dioxide converts to sulfur trioxide (SO_3) and sulfate particles (SO_4). Sulfate particles restrict visibility and, in the presence of water, form sulfur acid (H_2SO_4), a highly corrosive substance that also lowers visibility”*(Spellman, 2009:211). Jadi dengan memperkecil penggunaan bahan bakar yang mengandung sulfur atau menggunakan bahan bakar alternatif lain yang tidak mengandung sulfur merupakan salah satu cara memperkecil kadar sulfur dioksida di udara.

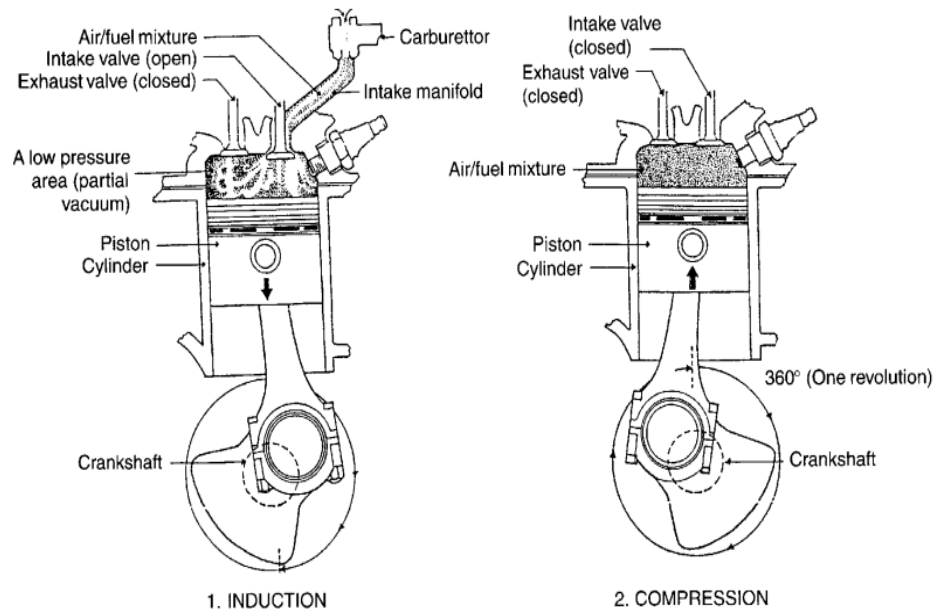
Dari pernyataan-pernyataan sebelumnya, maka dapat diketahui bahwa pembakaran yang sempurna hanya akan menghasilkan gas buang berupa karbon dioksida, uap air, dan nitrogen. Tetapi karena beberapa faktor menyebabkan adanya gas-gas lain yang ikut terbentuk pada saat pembakaran berlangsung dan keluar bersama gas buang kendaraan, pada umumnya hal ini disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna. Menurut Garret, Newton, dan Steeds (2001:350),

“For complete combustion, a stoichiometric mixture is needed, such a mixture being defined as one which contains the precise proportions of fuel and air required for complete combustion of both the fuel and, equally importantly, the air. With petrol, the stoichiometric air:fuel ratio is approximately 14.7:1 by weight, though such a mixture will not burn as completely as one might expect. This is because, in the extremely short time available, the vaporous and gaseous constituents are unable to form a perfectly homogeneous, or intimate, mixture in the combustion chamber. As a result, the exhaust gas tends to contain traces of oxygen, carbon monoxide and some unburned and partially burned hydrocarbons”.

5. Sepeda Motor Empat Langkah

Sepeda motor empat langkah merupakan jenis motor pembakaran dalam atau internal combustion engine, dan pada umumnya menggunakan satu cylinder dan berbahan bakar bensin. Motor bakar empat langkah adalah motor pembakaran dalam dengan empat langkah piston pada satu siklus termodinamika (wikipedia, 2014). Sedangkan menurut Stone dan Ball (2004: 17), motor pembakaran dalam dengan empat langkah adalah motor yang menghasilkan satu langkah *power* pada dua kali putaran. Jadi sepeda motor empat langkah merupakan sepeda motor yang melakukan satu siklus

termodinamika dengan empat langkah piston atau dua kali putaran dengan menghasilkan satu langkah *power*. Cara kerja motor empat langkah serta proses pembakarannya dapat dijelaskan berdasarkan Gambar 9 berikut.

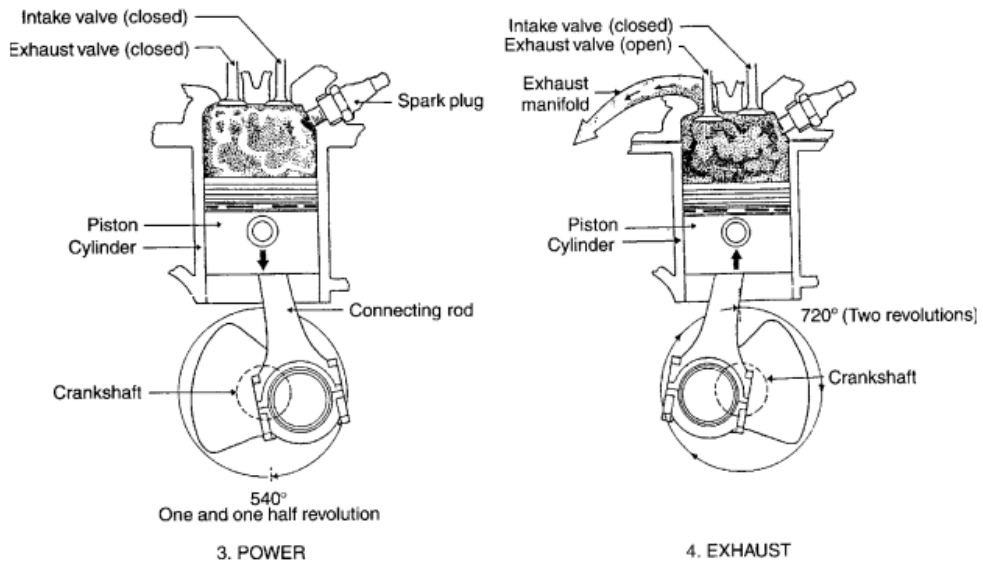


Gambar 9. Langkah *induction* dan *compression*.

Sumber : Bonnick dan Newbold (2011:11)

Pada langkah *induction*, katup masuk terbuka dan katup buang tertutup, piston bergerak ke arah titik mati bawah akibat gerakan *crank shaft* dan *connecting rod*. Karena piston bergerak ke arah bawah mengakibatkan tekanan di ruang bakar lebih rendah dibanding tekanan yang ada di atmosfer sehingga mengakibatkan campuran bahan bakar dan udara masuk ke dalam ruang bakar. Pada langkah *compression* kedua katup tertutup dan piston bergerak ke arah titik mati atas akibat gerakan *flywheel*, *crank shaft*, dan *connecting rod*. Mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar yang ada di ruang bakar dikompresi pada tekanan yang tinggi. Langkah pada motor

empat langkah selanjutnya yaitu langkah *power* dan *exhaust*, seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Langkah *power* dan *exhaust*

Sumber : Bonnick dan Newbold (2011:11)

Setelah langkah compression selesai, kedua katup masih tertutup dan terjadi percikan bunga api, kemudian membakar campuran bahan bakar dan udara sehingga tekanan di dalam *cylinder* meningkat dan memberikan gaya pada piston untuk bergerak ke titik mati bawah sehingga dapat memutar *crank shaft* dan diteruskan ke *flywheel*, langkah ini disebut langkah *power*. Pada langkah *exhaust*, katup *exhaust* terbuka dan katup *inlet* tertutup, gerak *flywheel* dan *crank* mendorong piston ke titik mati atas dan membuang gas hasil dari reaksi pembakaran.

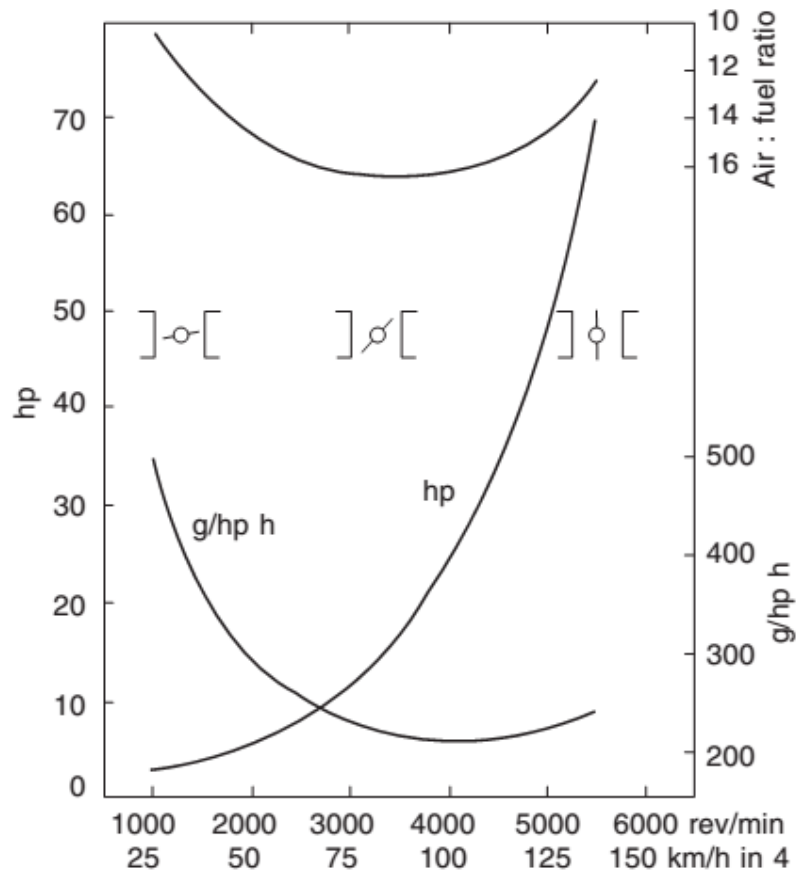
Sebelum memasuki ruang bakar, bahan bakar dan udara akan melalui proses *carburation*. Menurut Garret, Newton, dan Steeds (2001:351),

“The actual process of carburation comprises three stages: Metering the fuel through the jets in proportion to the air flowing into the engine. Breaking up the liquid into fine droplets, or atomising it, to assist evaporation. Distributing the evaporating fuel uniformly into the air flow to form a homogeneous mixture, preferably before it enters the cylinders, though in some circumstances, this process may be completed within them”.

Jadi proses karburasi terdiri atas tiga tahap, pertama mengatur perbandingan bahan bakar dan udara yang akan masuk ke *engine*, selanjutnya mengatomisasi bahan bakar untuk membantu proses evaporasi, kemudian mendistribusikan bahan bakar yang telah dievaporasi agar bercampur dengan udara secara homogen sebelum masuk ke ruang bakar.

Terdapat dua tipe pencampuran bahan bakar dan udara sebelum memasuki ruang bakar yaitu karburasi dengan sistem konvensional / karburator, dan sistem injeksi elektronik. Untuk mencapai pembakaran yang lebih sempurna dan ketepatan campuran bahan bakar dan udara pada setiap kondisi mesin, maka sistem karburator sudah mulai ditinggalkan. Pada saat sekarang ini kebanyakan produsen kendaraan bermotor sudah beralih ke sistem injeksi elektronik. Sistem injeksi elektronik ini menggunakan berbagai jenis sensor yang nantinya bekerja sama dengan *Electronic Control Unit* (ECU) agar mampu menetapkan campuran bahan bakar dan udara yang sesuai untuk berbagai kondisi mesin, sehingga konsumsi bahan bakar akan lebih hemat dan tingkat emisi gas buang kendaraan dapat dikurangi. Salah satu kelemahan sistem karburator adalah kurang tepatnya campuran bahan bakar dan udara yang didistribusikan ke ruang bakar sehingga *air fuel ratio* akan berbeda untuk beberapa tingkat RPM kendaraan. Berikut ini grafik

campuran bahan bakar dan udara yang menggunakan sistem karburator pada Gambar 11.



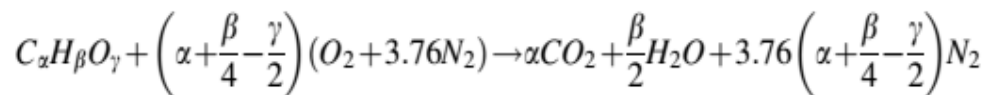
Gambar 11. Grafik RPM terhadap HP dan AFR menggunakan sistem karburator

Sumber : Garrett, Newton dan Steeds (2001:368)

Berdasarkan Gambar 11, maka dapat diketahui bahwa campuran yang kaya terdapat pada RPM rendah dan RPM tinggi, sedangkan pada RPM menengah, campuran bahan bakar dan udara lebih kurus atau *lean*. Campuran yang kaya menyebabkan tingkat emisi gas buang yang dihasilkan oleh proses pembakaran akan semakin tinggi, akan tetapi pada campuran yang kurus, mesin tidak mampu menghasilkan tenaga yang cukup besar.

Sehingga diciptakan lah sistem injeksi elektronik, yang menggunakan berbagai jenis sensor untuk mengetahui kondisi mesin, kemudian *Electronic Control Unit*(ECU) menetapkan campuran bahan bakar dan udara yang sesuai pada setiap kondisi mesin.

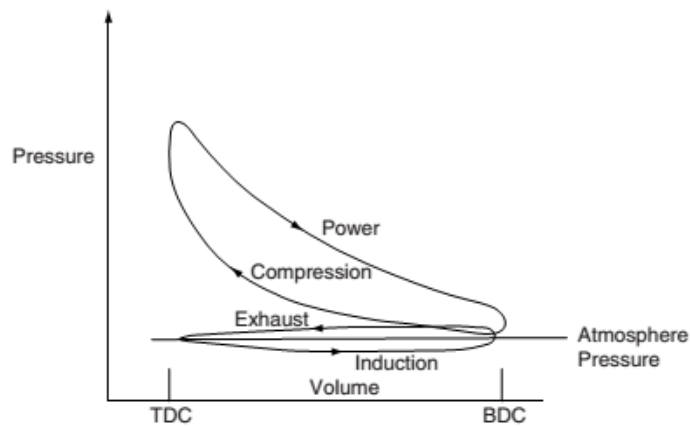
Pembakaran bahan bakar dan udara yang stoikiometri diharapkan dapat terjadi pada setiap proses pembakaran di dalam ruang bakar agar hanya menghasilkan *product* berupa CO₂, H₂O, dan sedikit nitrogen. Berikut ini persamaan reaksi yang terjadi antara bahan bakar dan udara.



Persamaan reaksi. Reaksi pembakaran *hydrocarbon* dengan udara
 Sumber: McAllister, S., Chen J.Y &Pello (2011:18)

Pembakaran yang sempurna hanya akan menghasilkan CO₂, H₂O, dan nitrogen, akan tetapi pembakaran hydrocarbon pada ruang bakar jauh dari efisiensi 100% sehingga menghasilkan gas-gas lain yang berasal dari pembakaran yang tidak sempurna tersebut (Hill , 2010:11). Hal yang paling mendasar yang menyebabkan *products* dari reaksi pembakaran menghasilkan gas-gas lain adalah struktur kimia bahan bakar yang digunakan.

Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar pada mesin 4 langkah mempengaruhi volume serta tekanan yang ada pada ruang bakar, berikut ini grafik hubungan tekanan dan volume yang terjadi pada saat proses pembakaran di dalam mesin 4 tak, pada Gambar 12.



Gambar 12.Diagram indikator pada mesin 4 langkah
Sumber : Bonnick (2008:160)

Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa pada saat langkah induksi atau langkah hisap, tekanan di dalam ruang bakar menurun atau lebih rendah dibanding tekanan atmosfer, sehingga bahan bakar dan udara akan terhisap masuk ke ruang bakar. Volume pada ruang bakar akan meningkat hingga pada titik mati bawah, dan tekanan di dalam ruang bakar sama dengan tekanan atmosfer.

Pada saat langkah kompresi, tekanan di dalam ruang bakar akan meningkat seiring dengan pergerakan piston ke arah titik mati atas, volume pada ruang bakar juga menurun. Sesaat sebelum piston mencapai titik mati atas maka busi akan memercikkan bunga api, sehingga dimulai lah pembakaran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar.

Proses pembakaran yang berlangsung mengakibatkan tekanan pada ruang bakar meningkat, dan piston yang telah mencapai titik mati atas pun akan terdorong ke arah titik mati bawah dikarenakan tekanan yang tinggi pada saat pembakaran, langkah ini disebut dengan langkah power. Tekanan

pada ruang bakar akan menurun sedangkan volume pada ruang bakar akan meningkat seiring pergerakan piston menuju titik mati bawah.

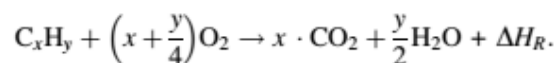
Piston yang telah sampai ke titik mati bawah menandakan langkah power telah selesai dan gas buang yang masih berada di dalam ruang bakar akan dibuang keluar seiring dengan pergerakan piston menuju titik mati atas. Volume ruang bakar akan berkurang dan tekanan pada ruang bakar akan menyamai tekanan atmosfer.

6. Hubungan Kemagnetan dengan Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan hasil dari proses pembakaran, pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan gas-gas lain yang berbahaya. Menurut Hill (2010:11), selama proses pembakaran, hidrokarbon bereaksi dengan oksigen yang ada di atmosfer dan menghasilkan karbon dioksida, uap air, dan nitrogen, akan tetapi pembakaran hydrocarbon pada ruang bakar jauh dari efisiensi 100% sehingga menghasilkan gas-gas lain yang berasal dari pembakaran yang tidak sempurna tersebut, dan Bonnick (2008:188) juga mengatakan, *“Exhaust gases are the products of combustion. Under ideal circumstances, the exhaust products would be carbon dioxide, steam (water) and nitrogen. However, owing to the large range of operating conditions that engines experience, exhaust gas contains several other gases and materials...”*. Jadi pembakaran yang sempurna akan menghasilkan gas buang berupa karbon dioksida, uap air dan nitrogen, sedangkan pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan emisi gas buang seperti CO, NO_x, HC, SO₂, dan partikel lainnya.

Menurut Lejda dan Woś (2012:68), “*As far as a quality of combustible mixture is concerned, both the appropriate fuel atomization and fuel mixing with the air charge is important here,...*”. Halderman dan Linder (2012:85) juga menyatakan, “*In theory, this ratio for gasoline is an air-fuel mixture of 14.7 to 1. In reality, the exact ratio at which perfect mixture and combustion occurs depends on the molecular structure of gasoline, which can vary*”.

Berdasarkan pendapat di atas dapat diketahui bahwa struktur molekul yang ada pada hydrocarbon berpengaruh terhadap pencampuran udara dan bahan bakar serta proses pembakaran. *Hydrocarbon* terdiri dari atom-atom *hydrogen* dan *carbon* yang berikatan. Komposisi kimia inilah yang akan bereaksi dengan oksigen yang ada di udara dan menghasilkan karbon dioksida dan uap air pada proses pembakaran yang sempurna. Seperti yang dikemukakan oleh Stiesch dan Eckert(2012:176) bahwa “*In the case of complete combustion, hydrocarbon compounds C_xH_y are converted into carbon dioxide CO_2 and water vapor H_2O* ”. Berikut bentuk reaksi pembakaran hydrocarbon dengan oksigen secara umum.



Persamaan reaksi. Reaksi pembakaranhydrocarbondengan oksigen
Sumber:Stiesch dan Eckert(2012:176)

Molekul *hydrogen* pada senyawa *hydrocarbon* memiliki elektron dan proton yang berputar, perputaran ini bisa terjadi secara searah dengan atom *hydrogen* lainnya, ataupun berlawanan arah. Seperti pernyataan Piela (2007:31), “*However, in the same hydrogen molecule we have two protons,*

whose spins may also be “parallel” (orthohydrogen) or antiparallel (parahydrogen)”, dan Ugare, Bhave dan Lutade (2013:37) mengatakan bahwa “Hydrogen occurs in two distinct isomeric forms Para and ortho. It is characterized by the different opposite nucleus spins”.Hydrogen pada hydrocarbon yang berada pada keadaan ortho lebih reaktif dibanding pada keadaan para. “The coincident spins render o-H₂ exceedingly unstable and more reactive than its p-H₂ counter part”(Govindasamy & Dhandapani, 2007:458).

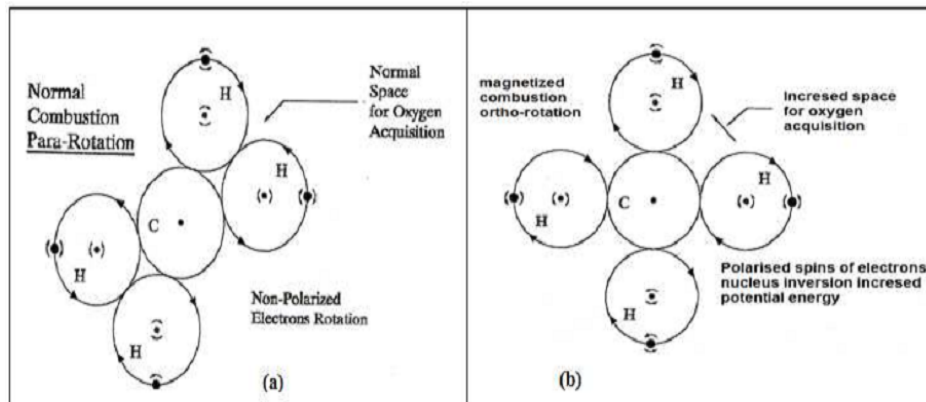
Pankhurst dan Parkin (2002:467) mengatakan bahwa, “Research in the last ten years has highlighted the dramatic influence that magnetic fields can have on chemical reactions in gases, liquids and solids”, sedangkan menurut Kipriyanov dan Purtov (2012:54) bahwa, “However, there are a number of papers that point to the observation of external magnetic field effect on chemical and biochemical systems actually having a significant impact on the reactions”, dan menurut Yamaguchi & Tanimoto (2006: 3), “Frequently, radicals with unpaired electrons appear during a chemical reaction. Magnetic fields can influence the kinetics or the yields of some chemical reactions due to the radicals”.

Dari pernyataan ini dapat diketahui bahwa gaya magnet dapat terjadi pada fluida dan juga pada sebuah reaksi kimia. Kita telah mengetahui bahwa atom-atom yang ada di alam terdiri atas elektron serta proton yang berputar pada sumbunya atau yang biasa disebut dengan spin dan perputaran *electron* mengelilingi inti atom yang biasa disebut dengan orbital, hal inilah yang

membangkitkan gaya magnet pada sebuah atom, begitu juga yang terjadi pada bahan bakar. Faris, et al (2012:328) mengatakan bahwa,

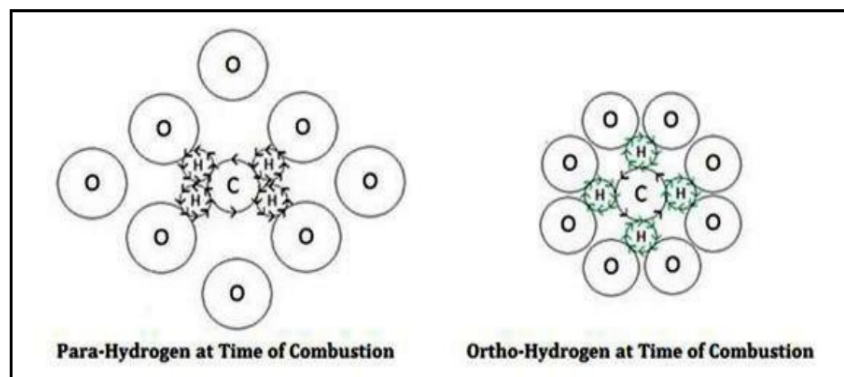
“Generally a fuel for internal combustion engine is compound of molecules. Each molecule consists of a number of atoms made up of number of nucleus and electrons, which orbit their nucleus. Magnetic movements already exist in their molecules and they therefore already have positive and negative electrical charges.

Medan magnet eksternal mampu mengubah *parahydrogen* menjadi *orthohydrogen*, seperti pernyataan Khalil (2012:153) bahwa, *“The magnetic field can change the spin state of hydrogen molecules in the fuel (converted from para–hydrogen to ortho–hydrogen) which greatly enhances the energy of the atom and increases fuel reactivity leading to higher engine output,...”*, dan menurut Yamaguchi & Tanimoto (2006:25), *“...ortho-and para-hydrogen interconversion is catalyzed by paramagnetic substances and dependent on the strength of magnetic fields applied to reaction systems”*. Ketika *hydrocarbon* berada pada kondisi *orthohydrogen* menyebabkan lebih banyaknya oksigen yang mampu berikatan dengan *hydrocarbon* tersebut pada saat reaksi pembakaran. Berikut ilustrasi perubahan *parahydrogen* menjadi *orthohydrogen* pada senyawa *hydrocarbon* oleh medan magnet pada Gambar 13.



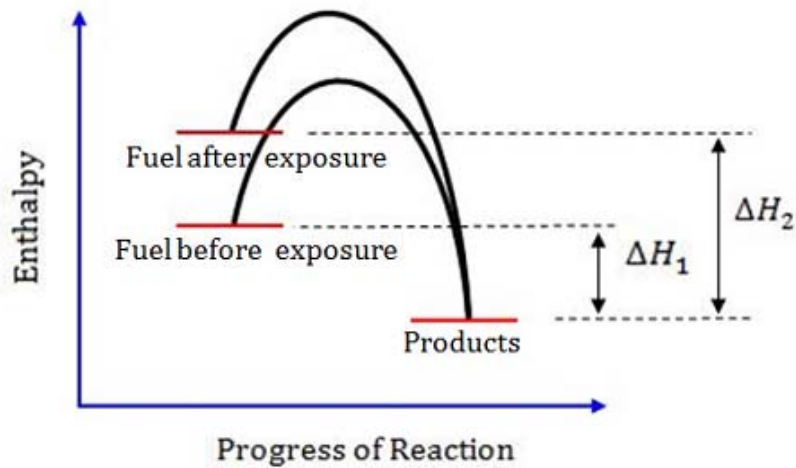
Gambar 13. Ilustrasi perubahan *parahydrogen* menjadi *orthohydrogen*.
Sumber: Ugare, Bhawe dan Lutade (2013:37)

Dengan berubahnya *parahydrogen* menjadi *orthohydrogen* sehingga lebih banyak oksigen yang mampu berikatan dengan *hydrogen* pada *hydrocarbon*, seperti yang disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Ilustrasi reaksi *hydrocarbon* dengan oksigen.
Sumber: Patel, Rathod dan Patel (2014:29)

Ketika sebuah reaksi eksoterm menghasilkan entalpi yang lebih negatif menandakan pada saat reaksi lebih banyak reaktan yang bereaksi, sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna. Pengaruh magnet pada proses pembakaran juga bisa dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Entalpi pembakaran sebelum menggunakan magnet dan setelah menggunakan magnet.
Sumber: Jalali et al (2013:227)

B. Penelitian yang Relevan

Penelitian yang relevan dengan penelitian ini telah dilakukan oleh:

1. Toledo, Ramalho, dan Magriotis (2008) yang berjudul *"Influence Of Magnetic Field On Physical-Chemical Properties Of The Liquid Water: Insights From Experimental And Theoretical Models"*, menjelaskan bahwa medan magnet berpengaruh terhadap nomor ikatan *hydrogen* yang terkandung dalam cairan, dan struktur cairan yang digunakan, serta jarak antara molekul air semakin meningkat.
2. Al-Khaledy (2008) yang berjudul *"High Performance And Low Pollutant Emissions From A Treated Diesel Fuel Using A Magnetic Field"*, menyatakan bahwa penggunaan magnet pada saluran bahan bakar dapat menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar, pembakaran menjadi lebih sempurna sehingga emisi menjadi berkurang, dan efisiensi pembakaran

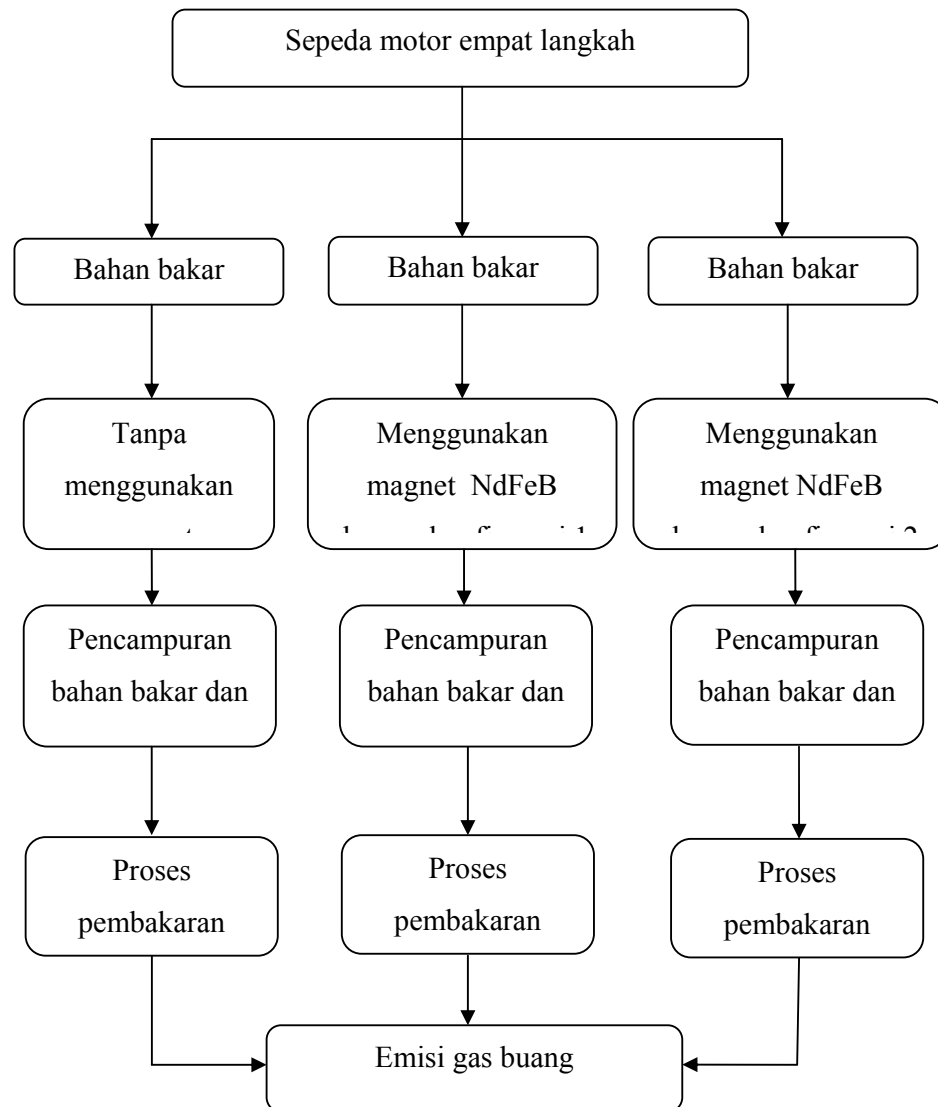
menjadi lebih meningkat. Penggunaan magnet pada saluran bahan bakar juga dapat mencegah proses solidifikasi pada bahan bakar.

3. Patel P. M., Rathod G., P & Patel T., M (2014) yang berjudul “*Effect Of Magnetic Field On Performance And Emission Of Single Cylinder Four Stroke Diesel Engine*” bahwa terjadi penurunan emisi CO pada beban tinggi, penurunan emisi HC dengan *range* sampai 30%, serta penurunan emisi CO₂ dengan *range* sampai 9.72% pada rata-rata semua beban yang diberikan.

C. Kerangka Berfikir

Pada penelitian ini akan dicari pengaruh penggunaan magnet *neodymium-iron-boron* pada sistem bahan bakar terhadap emisi gas buang sepeda motor suzuki thunder 125 tahun 2008, serta apakah ada perbedaan ketika arah kutub magnetnya dibuat searah dan ketika arah kutubnya berbeda.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan dibawah ini.



Gambar 16. Kerangka berfikir

D. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan deskripsi teori dan kerangka berfikir diatas, maka dapat diajukan hipotesis penelitian bahwa:

1. Adanya pengaruh kemagnetan *neodymium-iron-boron* pada bahan bakar terhadap emisi gas buang sepeda motor empat langkah
2. Terdapat perbedaan tingkat emisi gas buang yang dihasilkan pada sepeda motor empat langkah dengan mengubah arah magnet *neodymium-iron-boron*.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya pengaruh kemagnetan *neodymium-iron-boron* pada bahan bakar terhadap emisi gas buang sepeda motor empat langkah. Ketika bahan bakar yang digunakan ter-*exposure* oleh medan magnet maka terjadi penurunan tingkat emisi gas buangnya. Terjadi penurunan tingkat emisi CO pada RPM 3000 ketika bahan bakar yang digunakan dipengaruhi oleh *neodymium-iron-boron*, kemudian juga terjadi penurunan emisi HC hingga 17,3529 % pada konfigurasi 2 yang ditinjau dari perlakuan standar, serta penurunan emisi CO₂ hingga 16,3856 % pada konfigurasi 2 yang ditinjau dari perlakuan standar
2. Terdapat perbedaan tingkat emisi gas buang yang dihasilkan pada sepeda motor empat langkah dengan mengubah arah magnet *neodymium-iron-boron*, yaitu dengan konfigurasi 1 dan konfigurasi 2. Tingkat emisi CO, HC, dan CO₂ yang dihasilkan sepeda motor empat langkah dengan penggunaan magnet NdFeB konfigurasi 2 lebih rendah dari pada penggunaan magnet NdFeB konfigurasi 1. Rata-rata karbon monoksida yang dihasilkan sepeda motor empat langkah dengan penggunaan magnet NdFeB konfigurasi 1

pada RPM 3000 yaitu sebesar 0,49 %, sedangkan dengan penggunaan magnet NdFeB konfigurasi 2 hanya mencapai angka 0,45 %. Rata-rata emisi hidrokarbon yang dihasilkan dengan penggunaan magnet NdFeB konfigurasi 1 pada RPM 3000 yaitu sebesar 32,6667 ppm, sedangkan dengan penggunaan magnet NdFeB konfigurasi 2 hanya mencapai angka 22 ppm. Untuk Rata-rata emisi karbon dioksida yang dihasilkan dengan penggunaan magnet NdFeB konfigurasi 1 pada RPM 3000 yaitu sebesar 8,1667 %, sedangkan dengan penggunaan magnet NdFeB konfigurasi 2 hanya mencapai angka 6,5667 %.

B. Saran

Sehubungan dengan hasil penelitian diatas, saran yang dapat disampaikan yaitu, bagi peneliti lain yang juga ingin meneliti tentang penggunaan magnet NdFeB terhadap tingkat emisi gas buang kendaraan, diharapkan melakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan tingkat kekuatan magnet yang digunakan, serta menambah variasi RPM pada kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Amjad. (2011). "Magnetic Properties and Corrosion Resistance of Uncoated and Coated Rare-Earth Based Permanent Magnets". *Doctor of Philosophy Thesis*. University of Engineering & Technology Lahore.
- Al-Khaleedy, Ali A. J., (2008). "High Performance and Low Pollutant Emissions From A Treated Diesel Fuel Using A Magnetic Field". *Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences*. Vol. 1. No. 2. pp. 211-224.
- Badan Pusat Statistik. (2012). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2013*. Badan Pusat Statistik Republik Indonesia. Diakses tanggal 4 november 2014. <http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?kat=2&tabel=1&daftar=1&id_subyek=17%20¬ab=12>
- Balakrishnan, Kalpana & Bruce, Nigel (2006). 'Indoor Air Quality' in WHO (ed). *Air Quality Guidelines Global Update 2005*. Germany: Druckpartner Moser. pp. 189-213.
- Bécherrawy, Tamer (2012) *Electromagnetism : Maxwell Equations, Wave Propagation, and Emission*. Hoboken: Wiley.
- Bellac, Michel Le. (2006). *Quantum Physics*. New York: Cambridge University Press
- Bonnick, Allan. (2008). *Automotive Science and Mathematics*. Oxford: Elsevier.
- Bonnick, Allan & Newbold, Derek. (2005). *A Practical Approach to Motor Vehicle Engineering and Maintenance*. 2nd. ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Bonnick, Allan & Newbold, Derek. (2011). *A Practical Approach to Motor Vehicle Engineering and Maintenance*. 3rd. ed. Oxford: Elsevier.
- Callister, W., D., Jr., & Rethwisch, D., G. (2010). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 8th. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.