

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Siswanto & Efendi (2010) melakukan penelitian tentang karakteristik performa mesin sepeda motor bebek 4 langkah yang menggunakan CDI standar (*genuine*) dan CDI *programmable*. Hasil penelitian adalah ada perbedaan performa mesin yang menggunakan CDI *Genuine* dan CDI *Programmable*. Daya tertinggi dicapai pada hampir semua variasi CDI *Programmable*, yaitu sebesar 8,2HP. Torsi tertinggi diperoleh dengan memajukan Timing CDI *Programmable* 2°, yaitu 10,33Nm pada RPM 4670.

Marlindo (2012) melakukan analisa penggunaan CDI *programmable* dan koil *racing* pada mesin sepeda motor standar. Hasil dari analisa tersebut didapat bahwa torsi tertinggi pengapian standar pada rpm 4500 – 6000 dengan torsi maksimal sebesar 9,77 pada rpm 5842, namun untuk putaran diatas 6000 rpm torsi terbesar dihasilkan oleh pengapian menggunakan CDI *programmable* dan koil *racing*. Daya tertinggi menggunakan CDI standar dan koil *racing* pada putaran 5000 – 7614 rpm dengan daya maksimal 9,3 Hp pada putaran 7614 rpm, akan tetapi untuk putaran diatas 7614 rpm daya tertinggi dihasilkan oleh CDI *programmable* dan koil *racing*. CDI *programmable* dan koil *racing* sangat sesuai untuk motor kecepatan tinggi.

Supriyana & Hidayat (2015) meneliti tentang seberapa besar pengaruh perubahan *ignition timing* terhadap *performance* motor bensin 4 langkah berbahan bakar LPG dengan kondisi pengapian standar maupun yang sudah dimodifikasi dengan sudut 30°, 32° dan 34°. Hasil dari penelitiannya adalah torsi tertinggi diperoleh pada sudut pengapian 32° sebesar 5,97 Nm pada putaran 4500 rpm. Daya tertinggi diperoleh pada sudut pengapian 30° sebesar 4,1 Hp pada putaran 6000 rpm dan 32° sebesar 4,1 pada putaran 5750 rpm.

Mahmud, Surono & Sitorus (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi unjuk derajat pengapian terhadap kinerja mesin motor bakar 4 langkah. Didapat hasil bahwa Pada derajat pengapian yang dimajukan dari standarnya, diperoleh peningkatan nilai prestasi pada mesin, dibanding derajat pengapian standar. Derajat

pengapian standar menghasilkan torsi sebesar 7,86 Nm pada putaran 5854 rpm, pada derajat pengapian yang dimajukan 3° didapat torsi sebesar 7,89 Nm pada putaran 6155 rpm, dan pada derajat pengapian yang dimajukan 6° didapat torsi sebesar 7,90 Nm pada putaran 6194 rpm. Sedangkan untuk daya yang didapat pada derajat pengapian standar sebesar 7,0 Hp pada putaran 7625 rpm, pada derajat pengapian yang dimajukan 3° didapat daya sebesar 7,1 Hp pada putaran 7527 rpm, dan pada derajat pengapian yang dimajukan 6° didapat daya sebesar 7,3 Hp pada putaran 7796 rpm.

2.2 Motor Bakar Torak

Motor bakar torak adalah jenis mesin kalor yang beroperasi dengan langkah bolak-balik atau *reciprocating engine*. Motor bakar torak termasuk salah satu Mesin Pembakaran Dalam (*Internal Combustion Engine*) yaitu mesin kalor yang merubah energi kimia bahan bakar kedalam energi panas atau potensial gas hasil pembakaran untuk menjadi kerja mekanis dalam bentuk putaran poros. Proses pembakaran berlangsung didalam ruangan yang dibatasi dinding silinder, kepala silinder, dan puncak torak. Gas bertekanan hasil dari pembakaran berfungsi sebagai fluida kerja yang menggerakkan torak secara translasi dan dihubungkan dengan poros engkol (*crank shaft*) yang akan bergerak rotasi dengan batang penghubung (*link*) dan selanjutnya dihubungkan ke sistem transmisi.

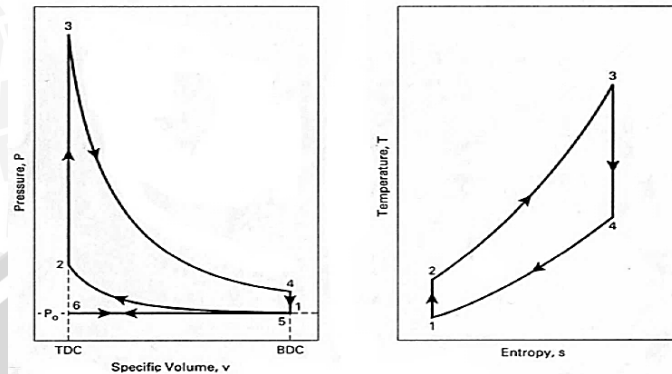
Berdasarkan langkah kerjanya motor bakar torak dibagi menjadi dua macam, yaitu motor bakar 2 langkah (*two stroke*) dan motor bakar 4 langkah (*four stroke*). Tergantung dari jumlah langkah kerja setiap siklusnya.

Berdasarkan sistem penyalanya motor bakar dibagi menjadi dua macam yaitu motor bensin (*otto*) dan motor diesel. Pada motor bensin (*otto*) menggunakan sistem penyalan busi (*spark ignition engine*) yang dilengkapi dengan karburator sebagai tempat pencampuran udara dan bahan bakar dimana pencampuran tersebut terjadi karena bahan bakar yang terisap ke dalam karburator dan busi sebagai pemantik bunga api. Sedangkan motor diesel disebut dengan CIE (*Compression Ignition Engine*) menggunakan sistem penyalan sendiri, yaitu pada saat bahan bakar disemprotkan dalam ruang bakar yang didalamnya telah terdapat udara bertekanan dan bertemperatur tinggi karena telah dikompresi oleh piston, sehingga bahan bakar yang disemprotkan tersebut akan langsung terbakar dengan sendirinya karena temperatur nyala dari bahan bakar telah tercapai.

2.2.1 Diagram P-v dan T-s Motor Bakar 4 Langkah

2.2.1.1 Siklus Ideal

Siklus idal motor Otto empat langkah dapat ditunjukkan dalam diagram (P-v) dan diagram (T-s) pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Diagram hubungan (P-v) dan (T-s)

Sumber: Pulkrabek (2004,p.90)

Langkah kerja siklus Otto terdiri dari:

- Proses 0 – 1 : Langkah isap/pengisian secara *isobaric* (P =konstan)
- Proses 1 – 2 : Langkah kompresi/tekan secara *isentropic* (s =konstan)
- Proses 2 – 3 : Proses pemanasan dan pembakaran secara *isokhorik* (v =konstan)
- Proses 3 – 4 : Langkah kerja/ekspansi secara *isentropic* (s =konstan)
- Proses 4 – 1 : Proses pendinginan/pengeluaran kalor secara *isokhorik* (v =konstan)
- Proses 1 – 0 : Langkah buang/pengeluaran gas sisa hasil pembakaran (P =konstan)

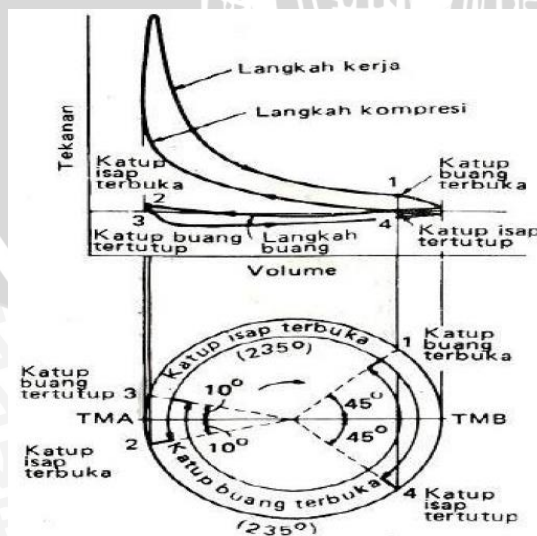
2.2.1.2 Siklus Aktual

Proses langkah kerja motor Otto empat langkah dalam kenyataannya tidak dapat bekerja dalam kondisi ideal. Penyimpangan dari siklus ideal itu terjadi karena dalam keadaan sebenarnya terjadi kerugian yang antara lain disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut (Arismunandar, 2002:29):

1. Kebocoran fluida kerja karena penyekatan oleh cincin torak dan katup tidak sempurna.
2. Katup tidak dibuka dan ditutup tepat di TMA dan TMB karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida kerja.
3. Fluida kerja bukanlah udara yang dapat dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan selama proses siklus berlangsung.

4. Pada motor bakar torak yang sebenarnya, pada waktu torak berada di TMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara. Kenaikan tekanan dan temperatur fluida kerja disebabkan oleh proses pembakaran bahan bakar dan udara di dalam silinder.
5. Proses pembakaran memerlukan waktu, tidak berlangsung sekaligus. Akibatnya proses pembakaran berlangsung pada volume ruang bakar yang berubah-ubah karena gerakan torak. Dengan demikian proses pembakaran harus sudah dimulai beberapa saat sebelum torak mencapai TMA dan berakhir beberapa saat setelah torak meninggalkan TMA menuju TMB. Jadi proses pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume konstan atau pada tekanan konstan.
6. Terdapat kerugian kalor yang disebabkan oleh perpindahan kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin, terutama pada langkah kompresi, ekspansi dan pada waktu gas buang meninggalkan silinder.
7. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer.
8. Terjadi kerugian energi karena gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya.

Dalam siklus udara standar, langkah buang dan langkah isap tidak diperlukan karena fluida kerja udara tetap berada di dalam silinder. Apabila tekanan gas dan volume silinder secara bersamaan pada setiap posisi torak dapat diukur maka dapat digambarkan siklus aktual motor Otto, yang bentuknya seperti ditunjukkan pada gambar Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Siklus aktual motor Otto empat langkah

Sumber: Arismunandar (2002,p.31)

Berdasarkan semua hal tersebut maka bentuk diagram (P-v) dari siklus yang sebenarnya tidak sama dengan bentuk diagram siklus ideal. Pada siklus yang sebenarnya tidak pernah terjadi suatu proses dengan volume konstan atau tekanan konstan. Karena semua penyimpangan diatas menimbulkan kerugian energi, maka sebaiknya diusahakan agar siklus yang sebenarnya dapat mendekati siklus yang ideal.

2.3 Motor Bakar 6 Langkah

Motor bakar 6 langkah adalah jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang mengacu pada konsep dasar motor bakar 4 langkah (otto). Namun diberi penambahan 2 langkah kerja yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan emisi mesin. Sejak tahun 1890 telah dilakukan pengembangan 2 langkah yang telah ditambahkan pada motor bakar 6 langkah.

Terdapat beberapa literatur dan *prototype* dari motor bakar 6 langkah di internet, namun masih sangat sedikit artikel atau tulisan yang mempublikasikan tentang unjuk kerja motor bakar 6 langkah. Wikipedia (2015) merangkum beberapa versi dari motor bakar 6 langkah yang telah dipublikasikan diantaranya Bajulaz (Bajulaz, 1989), Bruce Crower (Crower, 2007), Volezta (Kapil N. Kariya, 2014), Bazmi (Ziabazmi, 2004) dan Niykado (Anil, 2012). Tiga mesin pertama dari Bajulaz, Velozeta dan Crower telah menggunakan 6 langkah utuh, meskipun keenam langkah tersebut memakai 2 langkah kerja untuk menambahkan 1 siklus. Dimana dua langkah kerja yang berbeda berlangsung berurutan. Sehingga diperlukan sinkronisasi dari 2 langkah kerja tersebut. Sementara itu, motor bakar 6 langkah Bazmi dan Nykado tidak memerlukan sinkronisasi daya karena masing-masing motor bakar mereka hanya menggunakan 1 langkah kerja untuk satu siklus. Jika dibandingkan dengan motor bakar 4 langkah konvensional, motor bakar 6 langkah Bazmi melakukan penambahan 2 langkah sebagai langkah istirahat. Pada langkah istirahat tersebut tetap ada satu katup dalam posisi terbuka saat piston melakukan gerakan translasi. Menahan satu katup tetap terbuka bertujuan untuk mendapatkan pembuangan gas yang lebih baik. Meskipun begitu, mesin 6 langkah Bazmi berarti 4 langkah siklus konvensional ditambah 2 langkah penyempurnaan pembuangan.

Konsep motor bakar 6 langkah dari Conklin dan Szybist (Conklin and Szybist, 2010), secara prinsip mesin sama seperti mesin motor bakar 4 langkah dengan penambahan 2 langkah baru dalam satu siklus setelah 4 langkah siklus konvensional yang digunakan untuk mengelola tenaga yang dihasilkan dari uap (*steam*) ketika

langkah ke 4 dari mesin, dengan menyemprotkan air ke dalam silinder ruang bakar. Air yang disemprotkan akan menjadi uap (*steam*) karena panas dari ruang bakar setelah melakukan proses pembakaran mencapai 1500°F, sehingga uap (*steam*) tersebut digunakan sebagai tenaga baru untuk menggerakkan piston. Pada langkah ke 6 piston bergerak dari TMB ke TMA untuk mengeluarkan uap (*steam*) dari dalam ruang bakar menuju *condenser* untuk di *re-cycle* sebagai *injection water* selanjutnya. Mesin ini menghasilkan 40% tenaga lebih besar dan kadar emisi gas buang yang lebih rendah dari motor bakar 4 langkah. Conklin dan Szybist (Conklin and Szybist, 2010) yakin bahwa siklus motor bakar 6 langkah yang menggunakan injeksi air untuk menyerap kalor secara langsung dari gas sisa pembakaran lebih sederhana dari pada menggunakan panas permukaan ruang bakar sebagai sumber panas utama tersebut.

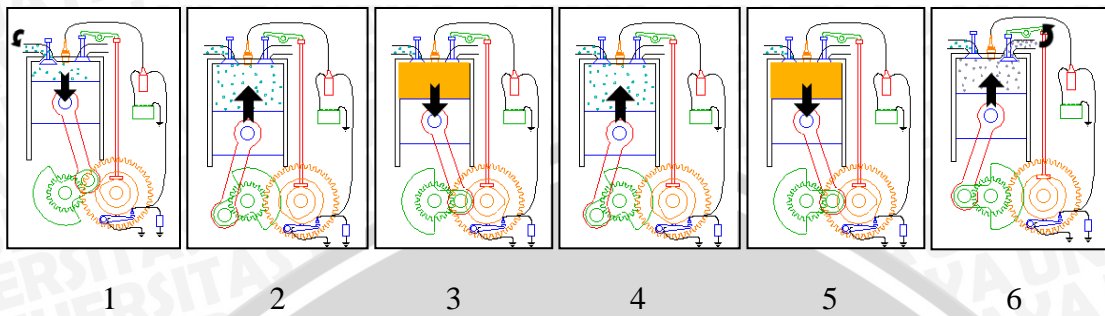
Motor bakar 6 langkah berbasis penambahan durasi difusi, mesin ini dikembangkan oleh Eko Siswanto, et al (2014) menjelaskan sebuah konsep baru yang tidak hanya menggunakan 1 langkah kerja pada satu siklus, yaitu mengganti 2 langkah kerja untuk penyempurnaan pembuangan (setelah langkah buang) menjadi 2 langkah difusi (menjelang langkah kerja atau proses pembakaran) sehingga tidak perlu mensinkronisasikan langkah kerja. Pada prinsipnya penelitian siklus motor bakar 6 langkah ini terdiri dari penambahan 2 langkah kerja terhadap siklus Otto 4 langkah yang bertujuan untuk menambah waktu difusi bahan bakar terhadap udara yang masuk ke ruang bakar.

2.3.1 Motor Bakar 6 Langkah Dua Kali Pembakaran

Berbeda dengan konsep-konsep motor bakar 6 langkah diatas, motor bakar 6 langkah dua kali pembakaran ini menjelaskan tentang konsep mesin Otto 4 langkah yang diberi 2 langkah tambahan, dimana 2 langkah tambahan tersebut adalah kompresi kedua dan ekspansi kedua. Jadi dalam 1 siklus kerja terdapat 2 kali kompresi dan 2 kali kerja ekspansi. Penambahan 2 langkah ini bertujuan untuk membakar kembali sisa campuran udara dan bahan bakar dari pembakaran pertama. Sehingga diharapkan campuran udara dan bahan bakar dapat terbakar semua dan tidak ada yang ikut keluar bersama dengan gas buang. Dengan demikian siklus dari motor bakar 6 langkah dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Langkah Hisap
2. Langkah Kompresi I
3. Langkah Ekspansi I

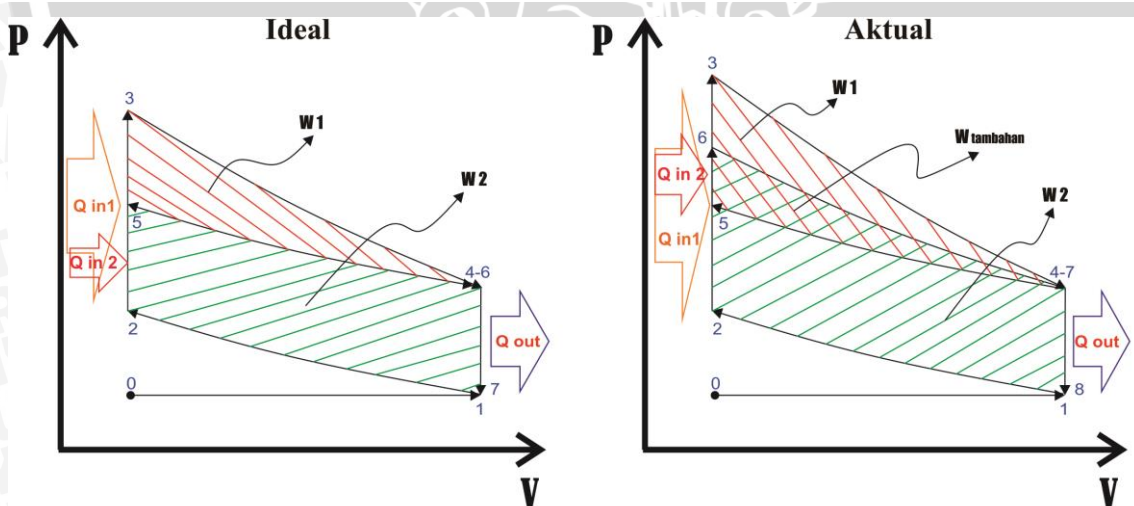
4. Langkah Kompresi II
5. Langkah Ekspansi II
6. Langkah Buang



Gambar 2.3 Skema siklus motor bakar 6 langkah dua kali pembakaran

Seperti pada gambar 2.3 secara teoritis dengan penambahan 2 langkah terhadap siklus Otto 4 langkah dapat disimpulkan bahwa kualitas gas buang yang dihasilkan dapat lebih baik dari motor bakar 4 langkah. Karena dilakukan dua kali pembakaran campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar, maka mesin memiliki 2 tahap langkah kompresi dan pembakaran pada satu siklus yang memungkinkan untuk membakar semua campuran udara dan bahan bakar yang diharapkan untuk mendapat emisi gas buang yang lebih baik.

2.3.2 Prediksi P-V Diagram Motor Bakar 6 Langkah Dua Kali Pembakaran



Gambar 2.4 Prediksi P-V diagram

Pada gambar 2.4 diatas dapat dilihat prediksi P-V diagram ideal dan aktual dari motor bakar 6 langkah dua kali pembakaran. Pada kondisi ideal diasumsikan semua campuran udara dan bahan bakar terbakar habis, sehingga pada saat pemasukan kalor kedua ($Q_{in 2}$) tidak terjadi kenaikan tekanan seperti pada pemasukan kalor pertama (Q

in 1) dan dikarenakan pada saat proses ini terjadi keadaan kedua katup masih dalam keadaan tertutup maka siklus langkah pada 4-5 akan sama dengan siklus langkah 1-2, hanya saja karena sisa pembakaran yang masih berada dalam ruang bakar menyebabkan nilai tekanan dari langkah kompresi lebih besar dari langkah kompresi 1. Luas usaha dari P-V diagram ideal adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Luas usaha ideal : } W &= W_1 + W_2 \\ W_1 &= 3 - 4 - 5 \text{ area} \\ W_2 &= 1 - 2 - 5 - 6 \text{ area}\end{aligned}$$

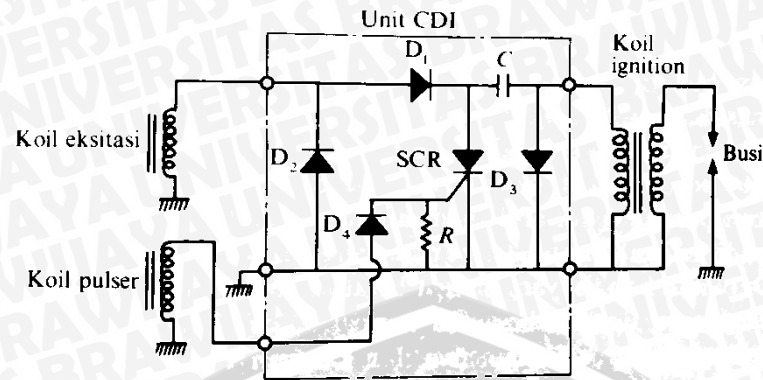
Sedangkan prediksi pada saat kondisi aktual diasumsikan masih ada sisa campuran udara dan bahan bakar, maka pada saat pemasukan kalor kedua (Q_2) akan terjadi pembakaran kedua dari campuran udara dan bakar yang tersisa sehingga masih terdapat sedikit kenaikan tekanan pada saat piston berada pada TMA. Nilai ledakan dari kompresi kedua akan lebih kecil dari nilai ledakan kompresi pertama, karena disini hanya membakar sisa dari campuran udara dan bahan bakar namun hal ini masih bisa mendorong piston turun kebawah pada proses ekspansi. Luas usaha dari P-V diagram ideal adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Luas usaha aktual : } W &= W_1 + W_2 + W \text{ tambahan} \\ W_1 &= 3 - 4 - 5 \text{ area} \\ W_2 &= 1 - 2 - 6 - 7 \text{ area} \\ W_t &= 4 - 5 - 6 \text{ area}\end{aligned}$$

2.4 Sistem Pengapian Mesin

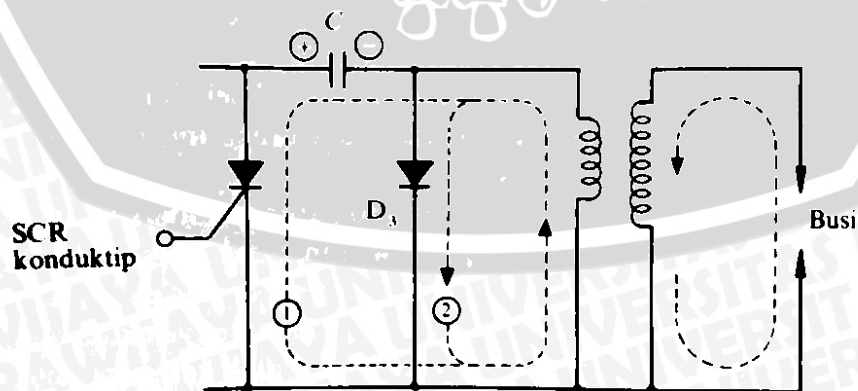
2.4.1 Sistem Pengapian Elektronik CDI (*Capacitor Discharge Ignition*)

Sistem pengapian CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) dikembangkan untuk mengatasi beberapa keterbatasan dari pengapian konvensional atau mekanik. Dengan menggunakan tegangan masuk 12 volt ke kumparan, sebuah CDI pengapian meningkatkan arus primer dengan menyimpan dalam semacam baterai miniatur yang disebut kapasitor. Saat ini arus primer lebih tinggi diterapkan untuk kumparan dan tegangan sekunder akan meningkat secara drastis. Sistem pengapian kondensator (kapasitor) atau CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) merupakan salah satu jenis pengapian pada kendaraan bermotor yang memanfaatkan arus pengosongan muatan (*discharge current*) dari kondensator, guna mencatu daya kumparan pengapian (*ignition coil*).



Gambar 2.5 Diagram sirkuit dasar CDI
Sumber: Kageyama (1983,p.97).

Pada gambar 2.2 memperlihatkan sirkuit dasar sistem CDI. Arus yang dihasilkan oleh koil eksitasi pada CDI mengalir melalui diode (D_1) kedalam kondensator (C) dimana arus tersebut disimpan. Berikutnya sinyal *ignition* dari koil pulsa membuat *thyristor* (SCR) menjadi konduktor dan karena itu, muatan listrik yang disimpan didalam kondensator dikeluarkan melauai *thyristor* ke koil *ignition*. Voltase yang diinduktasikan dikumparan primer dinaikkan didalam kumparan sekunder, dan menghasilkan bunga api melalui celah busi. Diode (D_2) menarik voltase negatif yang dihasilkan koil eksitai untuk melindungi *thyristor*. Fungsi dari diode (D_3) adalah untuk memperpanjang lamanya bunga api dari busi, tanpa diode (D_3) arus akan mengalir seperti pada 1 pada gambar 2.3 dan kondensator akan diisi lagi dengan arus balik setelah pengeluaran (*discharge*). Jadi tidak ada arus yang mengalir ke kumparan primer dari koil *ignition*, diode (D_3) menghindari arus mengalir kedalam kondensator. Berarti arus mengalir melalui diode (D_3) dan bergerak seperti pada 2 sehingga seluruh energi listrik yang disimpan didalam kondensator dapat dipakai menghasilkan bunga api dengan waktu lama.



Gambar 2.6 Aliran energi listrik yang disimpan didalam kondensator
Sumber: Kageyama (1983,p.97)

Bagian-bagian yang bisa ditemui (mungkin diantaranya tidak dipakai karena sesuatu hal) didalam suatu pengapian CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) yaitu:

1. Kumbaran pengisian (*charging coil*)
2. Kumbaran pemacu (*pulser coil*)
3. Penyearah (*rectifier*)
4. Baterai (*battery*)
5. Sekering (*fuse*)
6. Kunci kontak (*contact switch*)
7. Kondensator (*capacitor*)
8. Saklar elektronik (*electronic switch*)
9. Pengatur/penyetabil tegangan (*voltage regulator/stabilizer*)
10. Transformator penaik tegangan (*voltage step up transformer*)
11. Pengubah tegangan (*voltage converter*)
12. Pelipat tegangan (*voltage multiplier*)
13. Kumbaran pengapian (*ignition coil*)
14. Kabel busi (*spark plug cable*)
15. Busi (*spark plug*)

2.4.1.1 Sistem Pengapian CDI-AC (arus listrik bolak-balik)

Pada saat magnet berputar akan menghasilkan tegangan AC (bolak - balik) dalam bentuk induksi listrik yang berasal dari kumbaran atau biasa disebut *spool*. Arus akan dikirimkan ke CDI dengan tegangan antara 100-400 volt, tergantung putaran mesin. Selanjutnya arus bolak balik (AC) yang berasal dari kumbaran dijadikan arus searah (DC) oleh diode dan disimpan di kapasitor pada CDI unit. Kapasitor tidak akan melepas arus sebelum komponen yang bertugas menjadi pintu (SCR) bekerja, bekerjanya SCR apabila telah mendapatkan sinyal pulsa dari kumbaran pulser CDI (*pulser coil*) yang menandakan saatnya pengapian.

Dengan berfungsinya SCR menyebabkan kapasitor melepaskan arus (*discharge*) dengan cepat. Kemudian arus mengalir ke kumbaran primer koil pengapian dengan tegangan 100-400 volt, kemudian terjadi induksi dalam kumbaran sekunder dengan tegangan sebesar 15-20 KV. Tegangan tinggi tersebut selanjutnya mengalir ke busi dalam bentuk loncatan bunga api yang akan membakar campuran udara dan bahan bakar.

Pemajuan saat pengapian terjadi secara otomatis yaitu saat pengapian dimajukan bersama dengan bertambahnya tegangan pulser (*pulser generator*) akibat putaran mesin motor.

2.4.1.2 Sistem Pengapian CDI-DC (arus searah)

Sistem pengapian CDI-DC hampir sama cara kerjanya dengan sistem pengapian CDI-AC hanya pada sistem pengapian CDI-DC tegangan sumbernya berasal dari baterai atau aki (*accu*), baterai memberikan suplai tegangan 12 volt ke sebuah *inverter* (bagian dari unit CDI). Kemudian *inverter* akan menaikkan tegangan menjadi 350 volt selanjutnya akan mengisi kondensator (*capasitor*) dan arus baru akan dilepaskan ke koil jika telah mendapat sinyal dari pulser CDI.

Keunggulan dari CDI-DC adalah tegangan sumbernya stabil karena berasal dari baterai (aki), berbeda dengan sisten pengapian CDI-AC yang tegangannya nail turun mengikuti putaran mesin.

2.5 Sistem Pengapian CDI Programmable

CDI *programmable* adalah CDI yang *timing* pengapaiannya dapat diatur sendiri atau disesuaikan dengan setiap perubahan yang terjadi dari suatu mesin. Perbedaan dari CDI *programmable* dan CDI standar adalah *limiter* atau batas putaran tertinggi pada mesin dan *timing* pengapian dan kemampuannya. Yang dimaksud kemampuan disini adalah fitur didalam CDI yang mendukung performa suatu mesin. Pada dasarnya CDI *programmable* memiliki cara kerja yang hampir sama dengan CDI standar, hanya pada CDI *programmable* terdapat penambahan beberapa komponen seperti *low voltage IC regulator*, *pulse signal digilizer*, *CDI central processor unit*, *thyristor driver*, *data storage unit* dan *data communication* untuk meningkatkan kinerja dari CDI.

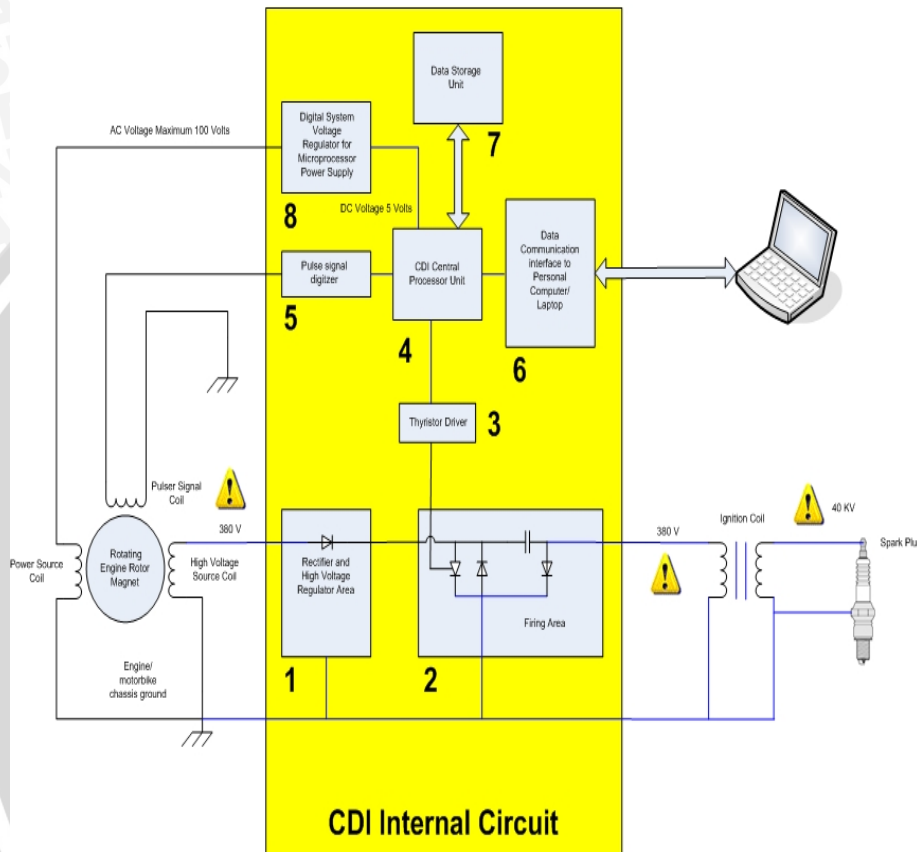
Secara garis besar, jenis CDI *programmable* tergantung pada sistem kelistrikan sepeda motor terbagi menjadi 2, yaitu AC *Programmable* CDI dan DC *Programmable* CDI.

2.5.1 AC (Alternate Current) Programmable CDI

Sistem kelistrikan AC pada sepeda motor berarti kelistrikan yang dihasilkan oleh sepul semuanya akan digunakan untuk perangkat kelistrikan dan pengapian pada sepeda motor. Sistem kelistrikan AC akan menghasilkan tegangan yang naik turun tergantung putaran mesin. Tegangan yang dihasilkan akan melalui filter berupa regulator yang akan membatasi tegangan jika melebihi tegangan yang seharusnya. Akumulator hanya menjadi penyimpan tegangan sementara jika

sistem kelistrikan kekurangan tegangan untuk menghidupkan perangkat kelistrikan yang terdapat pada sepeda motor, sehingga sepeda motor dapat dihidupkan meski tanpa menggunakan akumulator (*battery*). Berdasarkan dari sistem kelistrikan ini, maka CDI *Programmable* tipe AC memiliki diagram kelistrikan sebagai berikut :

Rextor Programmable CDI model AC



Gambar 2.7 Contoh diagram kelistrikan pada CDI Rextor tipe AC
Sumber: Instruction Manual PCDI

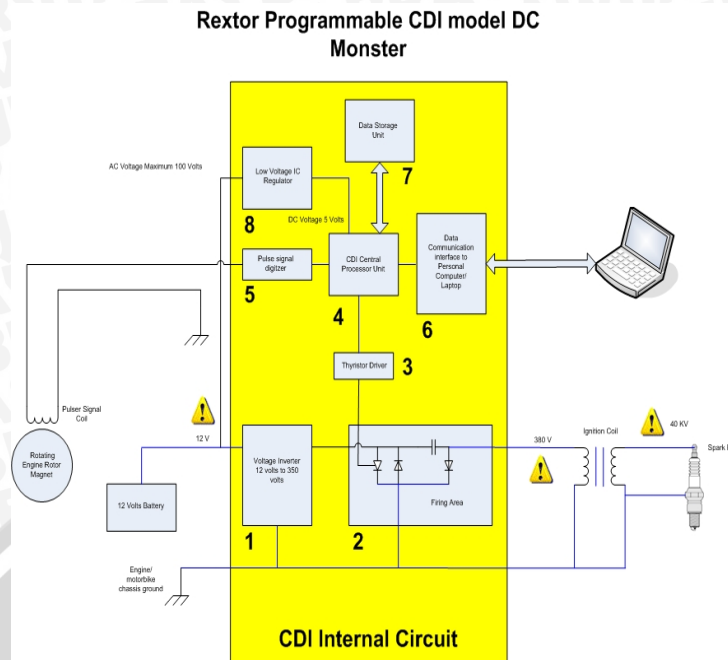
Penjelasan gambar diatas :

1. *High Voltage Source Coil* : kumparan / sepul pengapian yang menghasilkan tegangan tinggi.
2. *Power Source Coil* : kumparan / sepul pembangkit tegangan rendah untuk catu daya sistem computer dalam CDI AC.
3. *Pulser Signal Coil* : kumparan pulser.
4. *Ignition Coil* : kumparan pembangkit api busi.
5. *Spark Plug* : busi.
6. Blok kuning menyatakan rangkaian internal dalam CDI.

7. Blok Nomer 1 : *Rectifier and High Voltage Regulator Area*, merupakan rangkaian penyearah dan pengatur tegangan tinggi. Berisi rangkaian pembatas tegangan untuk diumpan ke kumparan pembangkit api busi.
8. Blok Nomer 2 : *Firing Area*, Rangkaian Pengapian, digunakan untuk menyalakan kumparan pembangkit api busi. Komponen utama adalah *thyristor* dan *capacitor*, sistem penyalannya dikendalikan oleh blok nomer 3.
9. Blok Nomer 3 : *Thyristor Driver*, rangkaian pengendali *thyristor*.
10. Blok Nomer 4 : *Central Processor Unit / CPU*. Sistem computer utama pengendali CDI, mengatur segala fungsi CDI mulai dari pengendalian sistem pengapian hingga komunikasi dengan PC (*Personal Computer*) untuk keperluan *tuning* data.
11. Blok Nomer 5 : *Pulse Signal Digitizer*; rangkaian untuk mengubah level sinyal analog ke level sinyal digital supaya bisa dibaca oleh CPU.
12. Blok Nomer 6 : *Data Communication Interface*, rangkaian komunikasi dengan PC.
13. Blok Nomer 7 : *Data Storage Unit*, rangkaian berisi IC Memori/EEPROM untuk menyimpan data *setting*.
14. Blok Nomer 8 : Power supply khusus untuk CPU.

2.5.2 DC (Direct Current) Programmable CDI

Sistem kelistrikan DC pada sepeda motor berarti kelistrikan yang dihasilkan oleh sepul akan melalui filter berupa kiprok yang akan membatasi tegangan jika melebihi tegangan yang seharusnya dan mengubah tegangan yang dihasilkan sepul yang berupa AC menjadi DC agar bisa digunakan untuk sistem pengisian tegangan untuk akumulator (*battery*). Akumulator menjadi perangkat yang penting dalam sistem kelistrikan DC karena digunakan untuk menghidupkan perangkat kelistrikan yang terdapat pada sepeda motor, sehingga sepeda motor tidak akan dapat dihidupkan jika akumulator (*battery*) dalam keadaan tidak baik atau tidak optimal. Berdasarkan dari sistem kelistrikan ini, maka CDI *Programmable* tipe DC memiliki diagram kelistrikan sebagai berikut :



Gambar 2.8 Contoh diagram kelistrikan pada CDI Rextor tipe DC
Sumber: Instruction Manual PCDI

Diagram blok CDI DC diatas memiliki persamaan dengan CDI AC, perbedaan utamanya dapat diamati dengan penjelasan sebagai berikut .

1. *High Voltage Source Coil* digantikan dengan 12 volts battery, otomatis ini tidak membebani mesin.
2. Blok Nomer 1 : *Voltage inverter 12 volts to 350 volts*, rangkaian ini yang bertugas menaikkan tegangan dari 12 volts ke 350 volts dan ini merupakan pembeda utama dibandingkan CDI AC.

High Voltage Source Coil yang digantikan oleh akumulator (*battery*) 12 volt akan menuntut pemeliharaan pada kondisi *battery* agar selalu optimal. Jika *battery* dalam keadaan kurang baik, maka sistem kelistrikan akan terganggu dan akan merusak CDI dan sistem kelistrikan lainnya.

Derajat pengapian yang dimasukkan dalam CDI *programmable* akan dibaca sebagai fungsi waktu oleh IC. Besar atau kecilnya nilai dari derajat pengapian akan menentukan waktu pengapian. Semakin besar nilai derajat yang dimasukkan maka semakin cepat pengapian yang akan terjadi, bila nilai derajat pengapian yang dimasukkan kecil maka waktu pengapian akan lebih lambat. Perhitungan waktu pengapian dimulai saat pulser mendapat sinyal dari *pick-up* magnet. Data yang diperlukan oleh CDI *programmable* untuk memulai perhitungan waktu pengapian adalah besar sudut pulser *angle* dan *pick-up angle*. Selisih antara *pick-up angle* dan pulser *angle* disebut delta pengapian.

Panjang *delta* untuk pengapian pada setiap sepeda motor berbeda-beda. Misalkan *delta* pengapian 20° maka akan digunakan sebagai acuan derajat paling awal saat pengapian CDI *programmable*. Ketika *pulser* mendapat sinyal dari *pick-up* magnet CDI akan membacanya sebagai 20° sebelum TMA. Putaran mesin juga akan masuk sebagai informasi lain dari CDI, dari putaran mesin tersebut CDI akan menghitung berapa lama penundaan waktu yang diperlukan untuk sampai pada derajat pengapian yang kita inginkan. Misalkan *pulser* membaca putaran mesin sebesar 2000 rpm, maka CDI akan menghitung kecepatan menempuh setiap derajat sebagai berikut:

$$2000 \text{ rpm} = \frac{2000}{60} = 33,3 \text{ rps}$$

$$1 \text{ putaran} = \frac{1 \text{ dtk}}{33,3} = 0,03 \text{ dtk}$$

$$\text{Waktu untuk menempuh 1 derajat} = \frac{0,03}{360^\circ} = 8,33 \times 10^{-5} \frac{\text{detik}}{\text{derajat}}$$

CDI akan menghitung kembali berapa waktu yang diperlukan untuk sampai pada derajat pengapian yang dimasukkan dalam tabel setelah diketahui kecepatan tiap derajat pada putaran 2000 rpm. Misal pada rpm 2000 dimasukkan pengapian terjadi 3° sebelum TMA, maka CDI akan menghitung waktu yang diperlukan untuk mencapai 3° sebelum TMA tersebut sebagai berikut:

$$20^\circ (\text{delta pengapian}) - 3^\circ (\text{sudut pengapian}) = 17^\circ$$

$$8,33 \times 10^{-5} \left(\frac{\text{detik}}{\text{derajat}} \right) \times 17^\circ = 1,41 \times 10^{-3} \text{ detik}$$

2.6 Unjuk Kerja Motor Bakar

Unjuk kerja motor bakar adalah sebuah pengujian dari suatu motor bakar yang bertujuan untuk mengetahui kinerja dari motor bakar. Ada beberapa parameter yang akan dibahas untuk mengetahui kinerja mesin dalam penelitian motor bakar 6 langkah ini, antara lain :

1. Torsi (T)
2. Daya Efektif (Ne)
3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE)
4. Efisiensi termal efektif (η_e)

2.6.1 Torsi (T)

Torsi adalah momen putar yang dihasilkan oleh poros mesin. Besar torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *dynamometer* yang akan

menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros, sehingga harga torsi dapat dicari dari hubungan antara perkalian besar nilai pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Besar torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = FxL \quad (2.1)$$

Keterangan :

- T = torsi yang dihasilkan (kg.m)
 F = besar beban pengereman (kg)
 L = panjang lengan dinamometer (m)

2.6.2 Daya Efektif (Ne)

Daya efektif adalah daya yang dihasilkan oleh putaran poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya efektif motor bakar adalah proporsional dengan perkalian torsi (T) dengan putaran anguler poros (ω). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,5} \quad (2.2)$$

Keterangan :

- Ne = daya efektif (hp)
 T = torsi (kg.m)
 ω = kecepatan anguler poros (radian detik⁻¹)
 n = putaran poros (rpm)

atau daya efektif bisa juga diperoleh dengan:

$$Ne = Ni - Nm$$

Keterangan :

- Ne = daya efektif (hp)
 Ni = daya indikatif (hp)
 Nm = Daya mekanis yang hilang (hp)

Untuk daya indikasi mesin diperoleh persamaan :

$$Ni = \frac{10^4 \times \pi \times Vd \times n \times i}{60 \times 75 \times z}$$

Keterangan :

- π = Tekanan indikasi (pa)
 Vd = volume langkah (m³)
 n = putaran mesin (rpm)
 i = jumlah silinder

z = rasio jumlah langkah siklus ($z = 3$ untuk motor 6 langkah)

2.6.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFC_e)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah laju aliran bahan bakar per satuan daya atau jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif dalam 1 jam. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$SFC_e = \frac{F_c}{N_e} \quad (2.3)$$

Keterangan :

SFC_e = *Specific Fuel Consumption Effective* (kg.HP⁻¹.jam⁻¹)

F_c = konsumsi bahan bakar (kg.jam⁻¹)

N_e = daya efektif (hp)

2.6.4 Efisiensi Termal Efektif (η_e)

Efisiensi termal efektif adalah perbandingan antara banyaknya kalor yang dihasilkan bahan bakar dengan daya yang efektif yang dihasilkan oleh mesin. Nilai ini digunakan sebagai ukuran ekonomis atau tidaknya penggunaan bahan bakar. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{F_c/N_e \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan :

η_{te} = efisiensi termal efektif (%)

LHV_{bb} = nilai kalor bahan bakar (kkal kg⁻¹)

F_c = konsumsi bahan bakar (kg jam⁻¹)

N_e = daya efektif (hp)

SFC_e = konsumsi bahan bakar spesifik (kg hp⁻¹ jam⁻¹)

2.7 Hipotesis

Semakin cepat putaran mesin akan menyebabkan waktu proses pembakaran yang semakin cepat, dibutuhkan *timing* pengapian yang tepat. Untuk mendapatkan *timing* pengapian yang tepat dilakukan dengan memajukan derajat pengapian, maka dapat dibuat dugaan sementara bahwa semakin besar derajat pengapian akan menghasilkan efisiensi dan daya yang lebih tinggi dari derajat pengapian standar pada setiap putaran yang sama.