

# Sistem Injeksi Hidrogen untuk Mengurangi Emisi Hidrokarbon

**Philip Kristanto**

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

## Abstrak

Kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber emisi hidrokarbon ke atmosfer terutama akibat tidak sempurnanya pembakaran di ruang bakar, sehingga banyak diemisikan hidrokarbon dari saluran buang. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi dari saluran buang adalah melalui sistem injeksi hidrogen setelah proses pembakaran untuk membakar hidrokarbon di saluran buang.

Kata kunci : Injeksi Hidrogen, Hidrokarbon, Elektrolisa

## Abstract

*Motor vehicles are one of the source emissions of hydrocarbon to atmosphere because of incomplete combustion in combustion chamber, so there are more emissions hydrocarbon from exhaust pipe. One of the method can be used to reduce hydrocarbon emissions from exhaust manifold are injecting hydrogen after combustion process for burning hydrocarbon in exhaust pipe.*

*Keywords : Hydrogen Injection, Hydrocarbon, Electrolysis.*

## 1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara yang diakibatkan oleh gas buang kendaraan bermotor pada akhir-akhir ini sudah berada pada kondisi yang sangat memprihatinkan dan memberikan andil yang terbesar dalam pencemaran udara secara total terutama di kota-kota besar negara berkembang. Salah satu polutan gas buang kendaraan bermotor yang ikut berpartisipasi dalam pencemaran udara adalah hidrokarbon. Bensin yang digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan bermotor merupakan suatu campuran kompleks antara hidrokarbon-hidrokarbon sederhana dengan sejumlah kecil bahan tambahan non-hidrokarbon bersifat sangat volatil yang sangat mudah menguap dan mengemisikan hidrokarbon ke udara. Hidrokarbon yang diemisikan tersebut merupakan polutan primer karena dilepaskan ke udara secara langsung oleh kendaraan bermotor baik pada saat pengisian bahan bakar maupun karena tidak sempurnanya pembakaran yang terjadi di ruang bakar.

Hidrokarbon merupakan komponen yang berperan dalam produksi oksidan fotokimia di mana berdasarkan struktur molekulnya dibeda-

kan menjadi hidrokarbon alifatik, aromatik dan alisiklis. Hidrokarbon aromatik lebih berbahaya dibandingkan kedua jenis hidrokarbon yang lainnya. Campuran produk-produk sebagai akibat pembebasan hidrokarbon ke atmosfer akan mengganggu siklus fotolitik NO<sub>2</sub> (Nitrogen dioksida) yang disebut dengan *smog fotochemical* berupa gabungan antara asap dan kabut, tentunya hal ini akan sangat mengganggu sarana transportasi baik darat, laut dan udara karena terbatasnya jarak pandang.

Karena dampak yang ditimbulkan akibat dibebaskannya hidrokarbon ke udara atmosfer, kiranya perlu dilakukan pengendalian terhadap emisi hidrokarbon terutama hidrokarbon yang dihasilkan saat motor belum mencapai temperatur kerjanya. Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan penambahan hidrogen sesaat setelah penyalaan dalam ruang bakar, dimana hidrokarbon yang belum terbakar di ruang bakar akan diikat oleh hidrogen tambahan, sehingga terjadi pembakaran lanjut yang akan menghasilkan gas buang yang lebih bersih.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Pencemaran Oleh Hidrokarbon

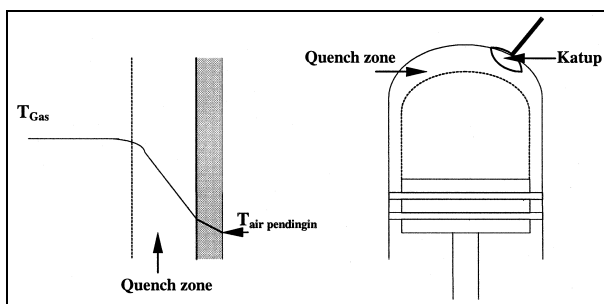
Emisi hidrokarbon yang terdapat pada gas buang berbentuk bahan bakar yang tidak

**Catatan** : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Januari 2000. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 2 Nomor 1 April 2000.

terbakar dengan sempurna di ruang bakar di mana hanya sebagian bahan bakar bereaksi dengan oksigen terutama di dekat dinding silinder antara torak dan silinder hal ini pada umumnya disebabkan karena lemahnya api dan rendahnya temperatur pembakaran. Hidrokarbon dapat diemisikan tidak hanya jika campuran udara-bahan bakarnya kaya, tetapi dapat juga jika campuran tersebut miskin.

Jika suhu pembakaran rendah dan perambatan nyala api lemah serta luasan dinding ruang bakarnya yang bersuhu rendah agak besar, kondisi ini terutama dijumpai pada saat motor baru dihidupkan atau pada putaran bebas (*idle*) maka secara alamiah motor akan banyak menghasilkan emisi hidrokarbon.

Profil temperatur sepanjang torak dan melalui dinding torak dapat ditunjukkan dalam gambar berikut ini.



Gambar 1. Quench Zone antara Torak dan Silinder Motor Bakar

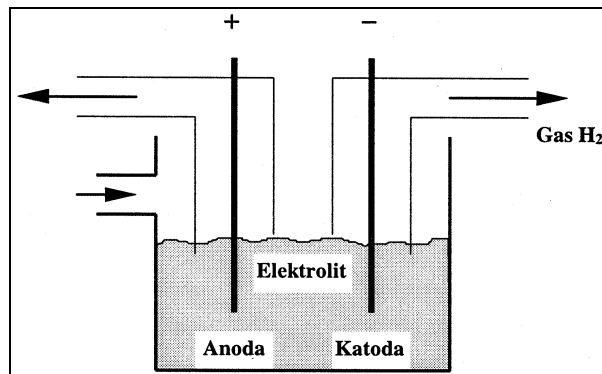
Karena adanya proses pendinginan, maka terdapat bagian pada ruang bakar yang bertemperatur rendah. Daerah ini disebut dengan *quench zone*, dan karena rendahnya temperatur, maka campuran udara-bahan bakar akan sulit untuk terbakar. Gas buang di sekitar katup akan keluar lebih dahulu dan bertemperatur relatif rendah, dan gas terakhir yang mengenai dinding torak yang bertemperatur rendah akan menjadi bertemperatur rendah juga. Jadi dalam tujuan untuk mengurangi emisi hidrokarbon juga akan mencakup pengurangan *quench zone*.

## 2.2 Produksi Hidrogen

Salah satu cara untuk menghasilkan hidrogen adalah melalui proses elektrolisa dengan bantuan energi listrik. Skema dari prinsip elektrolisa ditunjukkan dalam gambar 2.

Sebuah tangki diisi dengan air yang dicampur dengan larutan asam, sehingga air tersebut dapat bertindak sebagai konduktor untuk menghantarkan listrik. Campuran air dan larutan asam tersebut disebut dengan

elektrolit. Dalam elektrolit tersebut dipasang dua buah elektroda masing-masing adalah elektroda positif atau anoda dan elektroda negatif atau katoda. Bagian anoda dihubungkan dengan kutub positif listrik arus searah dan katoda pada kutub negatifnya.



Gambar 2. Skema Prinsip Produksi Hidrogen Dengan Elektrolisa

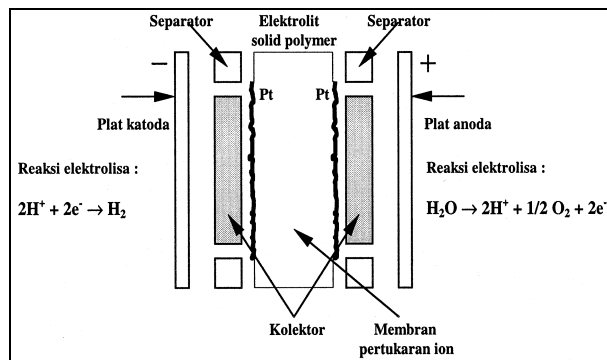
Jika arus searah mengalir, terjadilah peristiwa elektrolisa, sehingga atom-atom hidrogen dari air akan kehilangan elektronnya, sedangkan atom-atom oksigen mendapat tambahan elektron. Dengan demikian atom oksigen menjadi sebuah ion bermuatan negatif ( $O^-$ ) dan atom hidrogen menjadi sebuah ion yang bermuatan positif ( $H^+$ ). Karena bermuatan positif, ion-ion  $H^+$  akan tertarik ke katoda yang bermuatan negatif. Ion-ion  $H^+$  ini akan berkumpul di katoda. Pada saat menyentuh katoda, ion  $H^+$  akan menerima sebuah elektron dan kembali menjadi sebuah atom H biasa tanpa bermuatan. Atom-atom hidrogen ini bergabung menjadi gas  $H_2$  dalam bentuk gelembung-gelembung dan melalui katoda akan naik ke atas keluar dari tangki. Dalam proses ini elektrolit harus selalu ditambah air karena  $H_2O$  terus menerus terurai. Dengan demikian dalam proses elektrolisa ini, air bertindak sebagai bahan baku.

Beberapa proses elektrolisa menggunakan elektrolit padat berupa *polymer* yang berfungsi sebagai suatu membran penukar ion. Membran tersebut fleksibel, mempunyai kekuatan mekanik yang baik dan tahan terhadap gas pereaksi (*reaktan*). Skema dari sistim tersebut ditunjukkan dalam gambar 3.

Metode ini merupakan proses pemisahan ion-ion air. Sel yang terdapat pada sistim ini terdiri dari membran pengubah ion di mana pada kedua bagian sisinya dilapisi dengan platina, kolektor sebagai catu daya pada membran untuk menjaga sirkulasi dari elektrolit dan menghasilkan gas. Separator berfungsi untuk menjaga kontinuitas aliran ion ke anoda. Sel

tersebut bekerja pada tegangan DC kurang dari 2 volt. Beberapa keuntungan yang dapat dipetik dari sistim ini, di antaranya:

1. Bebas perawatan. Hal ini disebabkan karena komponen dapat terhindar dari korosi karena tidak menggunakan larutan yang bersifat korosif seperti basa/alkalin.
2. Hidrogen yang dihasilkan sangat murni (99 %)
3. Pengoperasian dan pengendaliannya sangat sederhana. Pembangkitan hidrogen dapat diatur melalui aliran arus yang masuk.
4. Membran pengubah ion dapat memisahkan sekaligus memampatkan hidrogen yang dihasilkan.

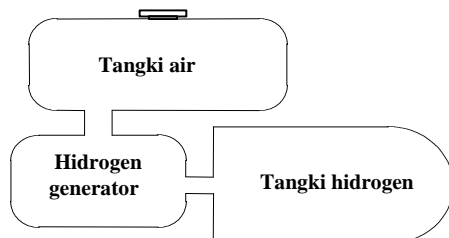


Gambar 3. Konfigurasi dari Sistim Elektrolisa Air dengan Elektrolit Solid Polymer

### 2.3 Sistim Suplai Hidrogen

Dalam pemilihan unit suplai hidrogen harus memperhatikan faktor kemudahan pemasangan pada kendaraan bermotor, bobot, biaya dan perawatan.

Konfigurasi dari sistim suplai hidrogen (gambar 4) terdiri dari : tangki air yang terbuat dari material resin, generator hidrogen di mana peristiwa elektrolisa berlangsung, dan tangki hidrogen yang juga dari material resin.

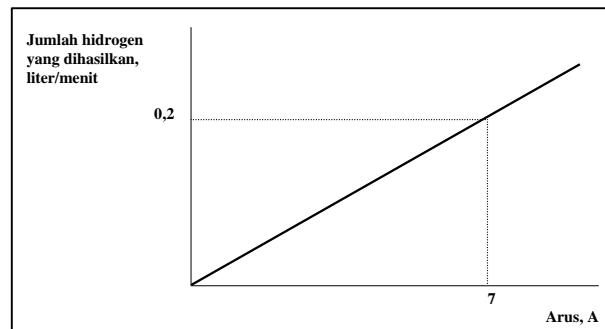


Gambar 4. Konfigurasi sistim suplai hidrogen

Unit pensuplai hidrogen ini dirancang seringkasan mungkin untuk dipasang pada ruang motor. Waktu yang dibutuhkan untuk mensuplai hidrogen tiap siklus tergantung dari

besarnya energi yang dikonsumsi, kerapatan arus listrik yang beroperasi, dimensi unit pensuplai dan lain-lain. Bagaimanapun juga unit ini dirancang untuk membangkitkan hidrogen sebesar 0,2 liter/menit selama ± 10 menit di mana konsumsi air pada tiap siklus sekitar 2 cc. Pada gambar 5 ditunjukkan kurva hubungan antara jumlah hidrogen yang dihasilkan terhadap arus.

Kondisi dari hidrogen yang dihasilkan dan proses penyimpanannya dapat dipantau melalui indikator tekanan dalam tangki dan lamanya arus listrik diberikan, selain itu hidrogen yang tersimpan dapat dipisahkan dari oksigen untuk menghasilkan hidrogen yang lebih murni dengan menggunakan membran pengubah ion. Hal ini memungkinkan penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi tanpa menimbulkan penyalakan sendiri, sehingga dapat dikatakan sangat aman.

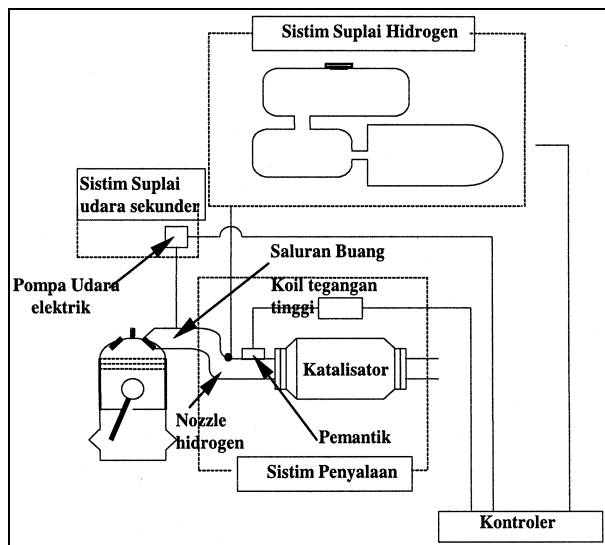


Gambar 5. Kurva Arus yang Digunakan vs Jumlah Hidrogen yang Dihasilkan

### 2.3 Penerapan Sistim

Dalam penerapannya di lapangan, sistim tersebut membutuhkan beberapa komponen bantu yang lain, di antaranya adalah sistim suplai udara cadangan, yang mensuplai udara cadangan pada exhaust manifold; sistim penyalakan yang terdiri dari coil tegangan tinggi dan pemantik untuk menyalakan hidrogen yang diinjeksikan di atas katalisator; pengendali, yang mengatur/membatasi hidrogen yang diinjeksikan, suplai udara cadangan dan sistim penyalakan. Skema sistim penambahan hidrogen setelah pembakaran ditunjukkan pada gambar 6. Prinsip kerja dari sistim tersebut diawali dengan sinyal untuk menghidupkan motor dikirim ke kontroler yang akan memberikan perintah untuk membuka katup solenoid (suplai hidrogen), selanjutnya kontroler mengirimkan sinyal untuk menghidupkan pompa suplai udara cadangan dan sistim penyalakan. Pada proses penyalakan lanjut, hidrogen yang sudah terbentuk dinyalakan untuk membakar

hidrokarbon yang belum terbakar di ruang bakar.



Gambar 6. Spesifikasi Dan Konfigurasi Sistim

### 3. Pengujian

Hal terpenting untuk mengevaluasi kemampuan dari sistim suplai hidrogen adalah dengan melakukan uji ketahanan, getaran dan adanya perubahan temperatur yang mendadak. Pengujian tersebut dilakukan untuk melakukan kontrol terhadap sistim operasi beserta dampak-dampaknya terhadap semua komponen yang terlibat dalam sistim.

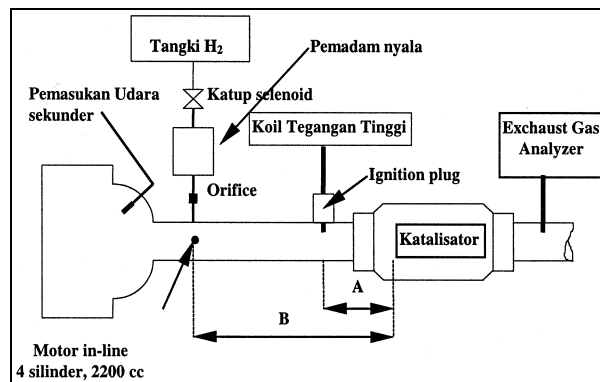
Diantara semua pengujian tersebut, uji siklus temperatur khususnya pada temperatur rendah merupakan hal yang sangat penting guna menjamin kemampuan dari elektrolit padat polymer.

Dengan asumsi tegangan pada permukaan sambungan dari membran dan platina diakibatkan karena adanya ekspansi termal sehingga akan mempengaruhi reabilitas, jumlah plat elektroda pada membran pengubah ion serta hasil dari proses elektrolisa.

#### 3.1 Pengujian Posisi Nosel Hidrogen Dan Pemantik

Untuk memaksimalkan hasil dari sistim penambahan hidrogen pada proses pembakaran lanjut, maka harus dilakukan pengujian posisi dari nosel hidrogen dan pemantiknya. Berikutnya dilakukan pengujian terhadap jumlah persediaan udara cadangan. Pengujian yang dilakukan oleh Kanada Youyi; Masaharu Hayasi; Motonubu Akaki dan Shunzou Tsuchikawa<sup>9)</sup> menggunakan motor 4 silinder *in-line* 2200 cc pada putaran 1200 rpm konstan

dengan pemasokan hidrogen dilakukan selama 10 detik setelah berlangsungnya proses pembakaran dan kondisi pemanas katalis diatur agar temperatur ujung terdepan dari katalis mencapai 350°C atau lama pemanasan diatas 20 detik, Air-Fuel ratio 12,8 dan suplai udara sekunder 135 liter/menit. Skema dari pengujian ditunjukkan dalam gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Skema Pengujian Sistim

Hasil dari pengujian ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Posisi Plug Ignition dan Nosel Hidrogen

Posisi Plug Ignition (A)mm	Posisi Nosel Hidrogen (B) mm	Periode Pemanasan (detik)	Peak Temperatur pada Ujung Katalis (°C)
25	55	Tidak ada pemanasan	120
	190	Tidak ada pemanasan	80
	340	Tidak ada pemanasan	55
160	190	18	620
	340	19	590
310	340	19	585

Dari tabel diatas nampak bahwa pada posisi plug ignition 25 mm, peak temperatur pada ujung katalis <350°C, jadi tidak terjadi peningkatan panas yang signifikan. Sedangkan pada posisi plug ignition 160 mm dan posisi nosel hidrogen 190mm dihasilkan peak temperatur tertinggi pada ujung katalis, yaitu 620°C.

#### 3.2 Pengujian Volume Udara Sekunder dan A/F

Untuk mendapatkan gambaran tentang jumlah hidrokarbon yang tidak terbakar dengan udara yang dihasilkan dari energi pembakaran untuk pemanasan katalis yang cepat, posisi nosel hidrogen dan *plug ignition* dibuat tetap, dan dengan menggunakan *exhaust gas analyser* dilakukan analisa A/F ratio dan konsentrasi hidrokarbon yang masih belum terbakar.

Berdasarkan hasil dari pengujian <sup>3)</sup> didapatkan bahwa pada A/F ratio  $\leq 12,8$  dan volume udara sekunder 110 liter/menit dihasilkan periode pemanasan yang lebih singkat (18 detik).

#### 4. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil pengujian posisi plug ignition 160 mm dan posisi nosel hidrogen 190 mm menghasilkan kondisi yang cukup ideal, dimana peak temperatur pada ujung katalis  $620^{\circ}\text{C}$ .
2. Pada posisi plug ignition 160 mm dan posisi nosel hidrogen 190 mm tersebut dan debit udara sekunder 110 liter/menit dihasilkan periode pemanasan yang lebih singkat pada A/F ratio  $\leq 12,8$ .
3. Sistem pembakaran lanjut memungkinkan untuk menurunkan emisi hidrokarbon karena HC yang belum terbakar di ruang bakar akan mengalami proses pembakaran lanjut.

#### Daftar Pustaka

1. Culp, A.W., *Principle Of Energy Conversion*, McGraw-Hill, Ltd, 1979.
2. Perkins, H.C., *Air Polution*, McGraw-Hill Book Company, 1974.
3. Masaharu K., Akaki, H.M., Tsuchikawa, A.S., *Hidrogen Added After-Burner System*, Journal Society of Automotive Engineers, 1996.
4. Vesilind, P.A., Peirce, J.J., Winer, R.F., *Environmental Engineering*, Butterworth - Heinemann, 1994.
5. Noel De Nevers, *Air Polution Controll Engineering*, McGraw-Hill Book Company, 1995.