

PENGARUH DESAIN KATUP UDARA PADA KARAKTERISTIK PENCAMPURAN UDARA MOTOR BENSIN

IGA Uttariyani^{1*}, Budi Rochmanto² and Hari Setiaprja³

^{1,2,3}Balai Teknologi Termodinamika Motor dan Propulsi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

E-mail: a.uttariyani@bppt.go.id

Abstrak

Tuntutan teknologi engine modern adalah kinerja yang tinggi, ramah lingkungan dan hemat energi. Berbagai kajian telah dilakukan untuk mencapai persyaratan tersebut seperti perbaikan pada sistem sistem asupan udara, metoda pencampuran bahan bakar dan udara yang lebih homogen maupun sistem katalitik converter pada keluaran gas buang untuk menekan kadar emisi yang dihasilkan. Paper ini akan membahas optimasi pencampuran bahan bakar dan udara melalui berbagai desain katup dengan saluran masuk/intake manifold yang tetap. Pengujian dilakukan pada rigtest yang dirancang khusus untuk mengetahui kekuatan pusaran/swirl. Hasil pengujian menunjukkan bahwa optimasi desain katup intake dengan saluran masuk diperlukan untuk mendapatkan nilai efisiensi volumetrik yang ideal untuk mendapatkan kinerja motor bensin yang tinggi.

Kata kunci: *Intake manifold; Katup; Motor Bensin; swirl*

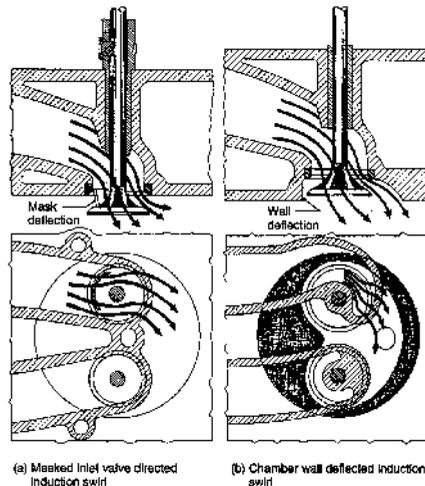
Pendahuluan

Semakin berperannya penggunaan motor bakar dalam berbagai bidang khususnya dalam bidang otomotif telah mendorong perkembangan teknologi yang sudah ada. Salah satu permasalahan yang semakin banyak mendapat perhatian adalah masalah pembakaran pada kendaraan bermotor. Apalagi dewasa ini muncul regulasi-regulasi yang mengharuskan emisi kendaraan bermotor harus dibawah nilai yang telah ditetapkan oleh suatu negara yang bersangkutan. Oleh karena itu berbagai desain atau penemuan terbaru yang berhubungan dengan proses pembakaran yang ada pada mesin torak terus dikembangkan. Salah satu perbaikan yang dilakukan untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi dalam proses pembakaran adalah mendesain suatu bentuk *valve* atau modifikasi area *cylinder head* yang mampu menghasilkan bentuk pusaran udara yang masuk kedalam ruang bakar yang optimal sehingga mampu menghasilkan campuran bahan bakar yang cukup sempurna atau homogen. Proses pencampuran yang lebih baik ini dapat menyempurnakan proses pembakaran. Dengan pembakaran yang sempurna akan memberikan tenaga / daya yang optimal dan emisi gas buang yang sesuai dengan regulasinya internasional saat ini. Pusaran udara itu biasa disebut dengan swirl. Swirl adalah aliran berputar yang dihembuskan ke dalam ruang bakar melalui katup/valve yang terpasang pada *cylinder head* dengan suatu sumbu putar. Ada beberapa prinsip dasar untuk menghasilkan bentuk swirl. Yang pertama adalah mendesain suatu bentuk valve sedemikian rupa sehingga mampu mengalirkan udara pusar. Yang kedua adalah mendesain jalan masuk udara yang sebelum inlet port dibuat bentuk lengkungan –lengkungan khusus untuk menginduksikan swirl. Metode lainnya adalah melalui pengaturan posisi atau sudut dari pada inlet valve sehingga udara yang melaluinya menghasilkan bentuk pusaran udara yang sesuai dengan desain konsep pembakarannya.

Ada beberapa bentuk *port* dan modifikasinya untuk menghasilkan bentuk pusaran udara yang sudah dikembangkan saat ini :

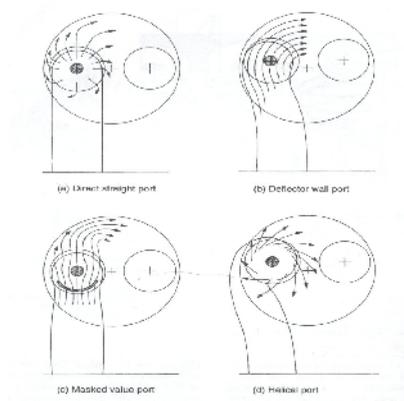
1. Directed straight port
2. Deflector wall port
3. Masked valve port
4. Helical port

Gambar 1 menunjukkan proses induksi swirl pada motor bakar. Dari Gambar 1 terlihat bahwa pola aliran tergantung dari jenis geometri katup danudukannya pada cylinder head sehingga hal ini menjadi komponen yang harus di perhatikan ketika mendesain sistem katup untuk menghasilkan performance engine engine sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 1. Induksi swirl pada motor bakar

Selain modifikasi sistem katup, kekuatan swirl juga dapat dilakukan melalui modifikasi saluran katup masuk. Kepala katup masuk diberikan tembok pengarah disetengah kelilingnya yang akan menimbulkan pusaran. Bahkan saat ini banyak tambahan-tambahan desain pada inlet valve misalnya dengan penambahan sirip dan sebagainya sehingga setelah dilakukan pengujian mampu menghasilkan bentuk swirl yang optimal. Gambar 2 menunjukkan klasifikasi *induction port* untuk berbagai desain.



Gambar 2. Kasifikasi induction port untuk berbagai desain saluran katup

Dari suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui angka swirl yang dihasilkan oleh suatu desain valve pada suatu engine, sebenarnya banyak sekali parameter-parameter yang akan ditentukan untuk mengetahui performance dari engine tersebut, selain kita perlu menguji lebih lanjut pada engine tersebut melalui suatu pengujian performance engine, pengujian emisi gas buang dan lain-lain untuk mengetahui desain suatu valve tersebut bagus atau optimal.

Dari nilai swirl yang dihasilkan tersebut (dalam bentuk torsi udara masuk) kita juga harus menghitung dan mengukur parameter-parameter yang lain yang berhubungan untuk menentukan karakteristik dari pada pada engine tersebut. Parameter-parameter tersebut antara lain :

- Kecepatan udara masuk
- Debit udara masuk
- Dimensi dan tinggi kenaikan/penurunan valve/ *valve lift*.
- Koefisien-koefisien, konstanta-konstanta yang berhubungan dengan paramater kecepatan, debit dan dimensi serta *valve lift* .

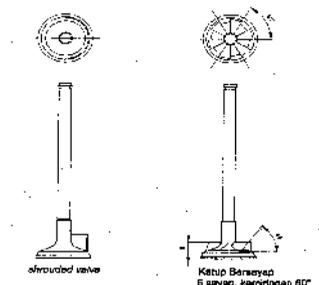
Berbagai penelitian menunjukkan bahwa nilai swirl sangat berpengaruh terhadap performance dari suatu motor pembakaran dalam bahkan modifikasi angka swirl dilakukan untuk menyesuaikan konsep pembakaran sesuai dengan bahan bakar yang akan digunakan. Hal ini karena angka swirl dapat berpengaruh kepada variasi tekanan dan temperature dari campuran bahan bakar dan udara, energi kinetic turbulen dan kecepatannya serta dapat menaikkan

nilai equivalence ratio. Dengan demikian maka nilai swirl dapat secara langsung mempengaruhi nilai power keluaran dari motor bakar, thermal efisiensi maupun emisi gas buang yang di hasilkan.

Bahan dan Metode Penelitian

Pada paper ini dicoba dilakukan perbandingan beberapa model valve dengan desain manifold standard untuk engine 1500 cc dengan susunan silinder in-line. Variasi valve yang dilakukan diberikan pada Gambar 3, yaitu:

- Model standard katup tanpa pengarah dengan saluran masuknya adalah type directed port.
- Modifikasi katup standard dengan penambahan 6 buah sayap diatas busur katup dengan kemiringan 60° . dalam hal ini modifikasi juga dilakukan dengan katup yang di lengkapi barrier dan bersayap pengarah(shrouded)



Gambar 3. Katup Pembangkit Pusaran Modifikasi dan Standar

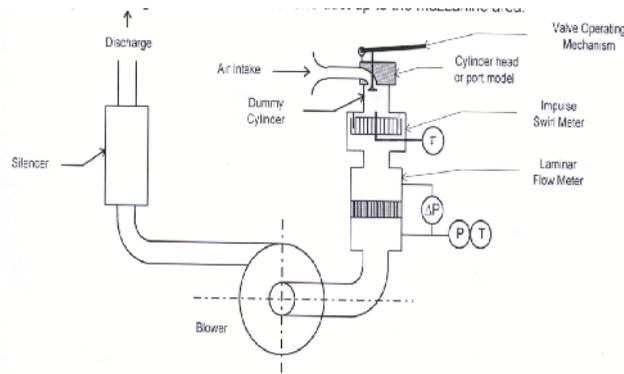
Dua model diatas dipilih dipilih sebagai desain yang dianggap ekstrem untuk memberikan data hasil uji yang dapat dijadikan patokan batas maksimal untuk optimasi desain pada lebih lanjut. Tujuan penelitian ini adalah desain modifikasi valve yang mampu menghasilkan bilangan pusar (nilai swirl) yang optimal dengan meminimalkan faktor- faktor yang bertolak belakang dengan nilai swirl tersebut, seperti tekanan masuk, temperatur dan lain-lain. Sehingga dengan demikian tetap diharapkan mampu menghasilkan suatu bentuk campuran udara dan bahan bakar yang sempurna, sehingga pembakaran lebih sempurna tanpa mengorbankan performance akibat turunya nilai koefisien aliran yang dapat menurunkan efisiensi volumetrik.

Metode Pengujian

Gambar 4 menunjukkan skematik diagram untuk pengukuran angka *swirl* pada suatu sistem katup and cylinder motor pembakaran dalam. Momentum aliran udara yang melewati saluran masuk diukur oleh impuls swirl meter type P7300 model 150. Alat pendukung lainnya antara lain alat ukur flow jenis Laminer Flow Meter (LFM), pengukur tekanan jenis Fluid Manometer type 4 Test Set. Rig atau aparatus diatur untuk mengkondisikan langkah penghisapan dengan mengatur variable speed pada blower untuk diatur kecepatannya sehingga aliran dapat kita atur. Sketsa dapat kita lihat pada gambar dibawah. Konstruksi penyanggahan kepala silinder harus dibuat sedemikian rupa agar getaran yang terjadi tidak merusak instalasi yang ada. Untuk mensimulasikan aliran ke dalam mesin harus dibuat silinder tiruan yang mempunyai diameter sama dengan diameter yang sebenarnya.

Untuk membuka katup dirancang mekanisme penggerak katup dengan pendorong katup yang menggunakan ulir. Dalam pengukuran pusaran katup dibuka dan ditahan setiap 0,25 mm. Katup yang dibuka setiap 0,25 mm, perbedaan tekanan yang terjadi antara udara luar dan dalam silinder dijaga konstan pada tekanan 250 mmH₂O agar kondisi turbulen penuh dapat dicapai. Pengaturan dilakukan dengan mengatur kecepatan putaran blower. Besarnya laju momentum angular akan terbaca pada tampilan digital sebagai torsi.

Dengan modifikasi bentuk valve tersebut diharapkan mampu menghasilkan bilangan pusar (nilai swirl) yang optimal dengan meminimalkan faktor- faktor yang bertolak belakang dengan nilai swirl tersebut, seperti tekanan masuk, temperatur dan lain-lain. Sehingga dengan demikian tetap diharapkan mampu menghasilkan suatu bentuk campuran udara dan bahan bakar yang sempurna, sehingga tenaga dan emisi gas buang yang dihasilkan dapat optimal. Dalam hal ini, walaupun tidak ditinjau hasil pengujian performance engine dan uji emisi gas buang desain valve yang bersangkutan, disini dapat terlihat perbandingan karakteristik dan nilai dalam suatu parameter dari desain valve yang bersangkutan dalam bentuk plot grafik dari beberapa model valve.



Gambar 4. Susunan rig test untuk pengujian nilai swirl

Perhitungan dan persamaan yang dipergunakan dalam pengukuran nilai swirl adalah sebagai berikut:

- *Effective velocity* yang melewati *port* :
$$V_o = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \tag{1}$$

dimana ρ adalah densitas pada kondisi *inlet*

P umumnya diatur mendekati 254 mm H₂O (2491 N/m²), mengacu pada kecepatan $V_o = 64,4$ m/s

- Valve inner seta area,
$$A = \frac{n \cdot \pi \cdot D^2}{4} \tag{2}$$

- Orifice area ,
$$A_v = n \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \cos^2 \theta \left[1 + \left(\frac{L}{D} \right) \sin \theta \cdot \cos \theta \right] \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \tag{3}$$

Pada 0,125 L/D, untuk $\theta = 30^\circ$ $C_F = 0,456$
 untuk $\theta = 45^\circ$ $C_F = 0,367$

Untuk kasus ideal $C_D = 1$

- Discharge coefficient,
$$C_D = \frac{Q}{A_v \cdot V_o} \tag{4}$$

- Flow coefficient berdasarkan gaya angkat
$$C_{FL} = \frac{Q}{n \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot V_o} \tag{5}$$

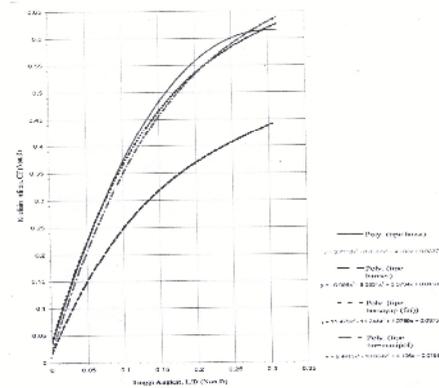
- Non-dimensional valve lift, (L/D)

- Non-dimensional rig swirl,
$$N_R = \frac{8 \cdot \tau}{m \cdot B \cdot V_o} \tag{6}$$

Analisa dan Pembahasan

Gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan *non dimensional valve lift* (L/D) dengan koefisien aliran C_f . Secara keseluruhan untuk tingkat angkat katup L/D = 0,15, sistem pemasukan aliran memberikan kenaikan koefisien aliran yang cenderung linear. Setelah melewati tinggi angkat katup kira-kira 0,15, memberikan efek koefisien aliran yang membentuk parabola. Pada bukaan katup 0 L/D = 0,1, luasan efektif aliran masih besar sehingga aliran yang melewati katup akan meningkat lebih besar dibandingkan dengan aliran ketika pada bukaan katup L/D = 0,1. Pada bukaan katup L/D = 0,1, aliran yang melewati dudukan katup tidak menempel pada kepala dan dudukan katup, akibatnya aliran memberikan koefisien luasan C_d yang kecil, sehingga kenaikan koefisien alirannya tidak sebesar pada 0 L/D = 0,1.

Grafik katup bersayap pada L/D = 0,08, memberikan koefisien aliran yang hampir berimpit dengan katup standar. Hal ini disebabkan karena pada bukaan tersebut aliran masih melekat pada seluruh bagian yang dilewati termasuk sayap-sayap diatas kepala katup dan juga disebabkan karena permukaan sayap tidak memberikan pengaruh gesekan terlalu besar terhadap aliran. Tetapi pada L/D = 0,08, koefisien aliran untuk katup bersayap mulai menurun dibandingkan dengan katup standar. Ketika katup bersayap disimulasikan seperti dipakai pada mesin yang sebenarnya dimana diletakkan manipol pada kepala silinder, koefisien alirannya menurun jika dibandingkan dengan katup standar. Hal ini disebabkan sebagian besar karena adanya hambatan berupa manipol tersebut. Untuk bukaan maksimal L/D = 0,25 penggunaan katup bersayap akan menurun koefisien aliran C_f sekitar 2,5 % terhadap katup standar. Jika diperhatikan grafik katup *shrouded*, akibat dari pelat pengarahnya membuat membuat luasan efektif dari katup standar berkurang 50 % sehingga koefisien alirannya turun secara signifikan. Katup *shrouded* memberikan koefisien aliran paling buruk dibandingkan model yang lain.

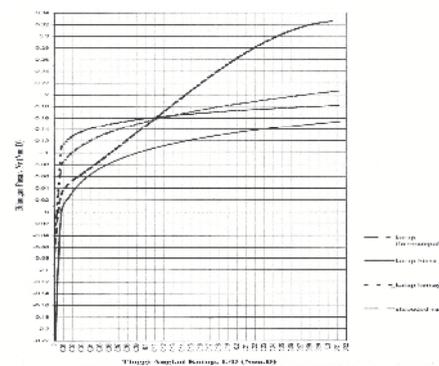


Gambar 5. Hasil pengukuran non dimensional valve lift dengan koefisien aliran

Apabila kita melihat efek katup terhadap koefisien aliran C_f , dapat terlihat dari katup standar bahwa efek hambatan katup akan menghilang pada suatu titik tinggi angkat katup tertentu, dimana akan memberikan dampak koefesien aliran yang konstan, yaitu pada koefesien aliran sekitar 0,62. Koefesien aliran yang konstan ini merupakan akibat dari penurunan tekanan P , yang diberikannya oleh sistem saluran pemasukan. Makin besar hambatan pada sistem pemasukannya, maka koefesien alirannya akan konstan pada tinggi bukaan katup yang lebih besar. Hal ini terlihat pada grafik untuk katup tipe *shrouded* dan katup bersayap.

Pada setiap grafik untuk tinggi angkat $L/D = 0$, koefesien alirannya seharusnya nol, karena belum ada aliran, tetapi dalam pengukuran ini tidak nol. Hal ini akibat adanya kebocoran kecil pada sistem aparatus maupun sistem pemasukan udara ketika proses pengukuran.

Gambar 6 menunjukkan grafik perbandingan *non dimensional valve lift* (L/D) dengan nilai swirl N_f . Untuk katup standar, bilangan pusar yang dihasilkan dibanguku uji adalah mewakili model saluran masuk yang digunakan dalam pengujian ini, yaitu model kepala silinder standar. Bilangan pusar yang dihasilkan katup standar pada tiap tinggi angkat katup merupakan yang terendah dibandingkan dengan model katup lain. Pada tinggi angkat katup $L/D = 0,1$, katup membuka pada tinggi angkat yang kecil, maka C_D akan naik karena luasan efektif aliran naik, sehingga pusaran yang dihasilkan juga meningkat lebih tinggi.



Gambar 6. Hasil pengukuran non dimensional valve lift dengan nilai swirl

Dengan memberikan 6 sayap dengan kemiringan 60° , membuat pusaran pada katup standar melonjak sekitar 100 % pada bukaan katup $L/D = 0,09$. Bukaan katup $L/D = 0,09$, kenaikan bilangan pusar makin kecil dan cenderung mendekati grafik katup standar. Hal ini terjadi karena pembangkitan pusaran karena saluran masuk tipe *directed port* memberikan karakteristik pusaran tersendiri. Jika kedua pembangkit pusaran tersebut digabungkan, maka pusaran yang terjadi merupakan resultan vektor kecepatan angular V_θ dari masing-masing pembangkit pusaran. Hal ini terbukti pada grafik, dimana karena katup bersayap memberikan pembangkitan yang lebih besar maka pada bukaan kecil, pusaran dari katup bersayap tidak terlalu terganggu oleh saluran yang ada. Tetapi efek resultan keduanya terlihat pada bukaan katup makin besar, dimana kenaikan bilangan pusar cenderung menuju grafik katup standar. Ditambah lagi pada bukaan besar kecepatan aksial dari aliran keluar katup turut membuat kecepatan angular aliran menurun.

Apabila katup bersayap diletakkan dikepala silinder yang menggunakan manipol, kenaikan bilangan pusar sepanjang tinggi angkat katup cenderung stabil terhadap katup standar yaitu sekitar 40% - 50%. Sayap yang diletakkan diatas katup dengan kemiringan sayap tertentu adalah untuk mengarahkan aliran yang melewati katup

agar membentuk kecepatan arah tangensial yang besarnya diatur melalui jumlah sayap dan sudut kemiringan. Kecepatan arah tangensial inilah yang menimbulkan momentum angular.

Katup yang diberi pelat pengarah (*shrouded valve*) kelihatan tidak terganggu terhadap pusaran yang dihasilkan oleh saluran masuk. Pada bukaan $L/D = 0,05$, efek pembangkitan pusaran yang dihasilkan terhadap katup standar tidak terlalu berarti jika dibandingkan dengan model katup lain. Pada $L/D = 0,05$, efek pembangkitan pusarannya meningkat secara signifikan meninggalkan bilangan pusar katup tipe yang lain. Dapat dikatakan, *shrouded valve* yang digabungkan dengan saluran masuk tipe *directed* akan menaikkan bilangan pusar secara signifikan, karena *shrouded valve* mempunyai sifat pembangkitan yang berbeda yaitu hanya membangkitkan kecepatan angularnya.

Kesimpulan

Katup *shrouded* yang dikombinasikan dengan saluran tipe *directed* akan memberikan bilangan pusar yang lebih tinggi dibandingkan dengan model lain, tetapi menghasilkan koefisien aliran yang paling rendah. Saluran *directed* yang tidak diberi katup pembangkit akan menghasilkan bilangan pusar yang rendah tetapi koefisien alirannya cukup tinggi. Kombinasi antara Katup bersayap dengan saluran masuk pembangkit pusaran karena belum tentu dapat mencapai hasil yang diinginkan. Pembangkitan pusaran biasanya menurunkan koefisien aliran yang berarti menurunkan efisiensi volumetris. Sehingga untuk aplikasi katup bersayap pada mesin akan lebih sesuai dengan saluran masuknya yang lurus.

Hasil kajian ini hanya bisa dipakai sebagai perancangan sistem pembangkit pusaran saja. Padahal dalam hal perancangan mesin, yang terpenting adalah kinerja yang dihasilkan oleh motor pembakaran dalam, Jadi masih merupakan tantangan lebih lanjut untuk menguji pengaruh pusaran yang dihasilkan dengan kinerja/power dan emisi gas buang dari sistem motor bakar. Hal ini dikarenakan karena nilai swirl yang besar dari bangku uji, belum tentu memberikan performansi yang optimal pada suatu mesin.

Daftar Notasi (satuan harus menggunakan sistem Satuan Internasional (SI))

- A = area pada valve inner seat
- A_v = orifice area antara valve head dan dudukan pada low valve lifts
- B = cylinder bore
- D = inner seat diameter
- = impulse meter torque, angular momentum flux
- L = valve lift
- m = air mass flow rate memeluhi port
- n = jumlah inlet valve
- Q = volume flow terukur pada flowmeter
- P = total pressure drop yang melaluhi port
- = densitas udara

Daftar Pustaka

- Ahmed E.E Khalil, Aswani K. Gupta, (2014), "Toward distributed combustion for ultra low emission vehicle using swirling and non swirling flow field" *Applied energy* 121 (2014), pp. 132-139.
- Cusson Technology, (1998), "Instruction Manual Port Flow Rigs"
- Cusson Technology, (1998), "LTMP Indonesia air calibration rig operating manual"
- E. Parathan, A. Ramesh, B. Nagalingam, (2013), "Effect of swirl on performance and combustion of a biogas fuelled spark ignition engine" *Energy Conversion and Management* 76 (2013), pp. 463-471.
- H. Burbuz, Ismail H. Akcay, D. Buron, (2014), " An investigation on effect of in cylinder swirl flow on performance combustion and cyclic variation in Hydrogen fuelled spark ignition " *Journal of energy institute* 87 (2014), pp. 1-10.
- H. Zhung, David L.S. Hung, (2014), "Characterization of the effect of air swirl motion on time resolved in cylinder flow using quadruple proper orthogonal decomposition" *Energy Conversion and Management* 108 (2016), pp. 366-376.
- Heywood J.B, (1998), "Internal Combustion Engine Fundamental" New York McGraw-Hill, Inc., 1988
- Idris Saad, Saiful Bari, (2014), "Guide vane swirl and tumble device to improve in-cylinder air flow of Compression Ignition engine using vegetable oil" *Procedia engineering* 90 (2014), pp. 425-430.
- Kern Y. Kang, Rolf D reitz, (1994), "The effect of intake valve alignment on swirl generation in a Direct Injection Diesel Engine" *Experimental thermal and fluid science*, Vol. 20 (1994) pp. 94-103.