

**MEREKABENTUK DAN MENGANALISIS ROD
PENGHUBUNG**

MOHAMMAD SYAFIQ BIN RAMLI

**Laporan ini dikemukakan sebagai
memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur & Bahan)**

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

JUN 2012

PENGESAHAN PENYELIA

“Saya akui bahawa telah membaca laporan ini dan pada pandangan saya laporan ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Automotif).”

Tandatangan :

Penyelia :

Tarikh :

PENAKUAN

“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.”

Tandatangan :

Nama Penulis :

Tarikh :

Khas buat
Ayah dan Ibu tersayang

PENGHARGAAN

Saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih dan setinggi penghargaan kepada semua pihak yang telah memberi kerjasama untuk saya menyiapkan laporan ini. Terima kasih juga saya ucapkan kepada penyelia saya iaitu Puan Sushella Edayu Bt Mat Kamal di atas segala tunjuk ajar dan bimbingan yang di curahkan kepada saya sehingga saya dapat menyiapkan laporan ini pada masa yang telah ditetapkan.

Tidak lupa juga kepada kedua ibu bapa saya yang memberikan sokongan kepada saya selama saya menyiapkan laporan ini. Tanpa sokongan dari mereka, laporan ini tidak akan siap mengikut masa yang ditetapkan. Setinggi penghargaan juga saya tujukan kepada rakan-rakan seperjuangan saya yang juga telah banyak membantu dalam menyelesaikan segala masalah yang menimpa ketika menyiapkan laporan ini.

ABSTRAK

Kajian ini melibatkan kekuatan dan mengoptimumkan jisim rod penghubung. Idea ini dikeluarkan oleh penyelia yang memberi tugas. Dalam tugas ini, rod penghubung daripada kereta Proton Wira 1.5 yang sebenar digunakan untuk mendapatkan dimensi yang sebenar. Selepas pengukuran diambil, rod penghubung dilukis dan direkabentuk menggunakan perisian CATIA dengan mengubah dimensi rod penghubung sebenar untuk mendapatkan jisim yang optimum. Setelah rekabentuk rod penghubung selesai dilukis, analisis terhadap rod penghubung ini juga dilakukan di dalam perisian CATIA dan seterusnya dapat mengetahui tekanan dan ketegangan rod penghubung yang terjadi pada rod penghujung tersebut. Analisis ini menggunakan jenis bahan yang berbeza – beza untuk mendapatkan kekuatan yang maksimum serta untuk mencapai objektif sebenar. Keputusan selepas analisis akhir menunjukkan Rekabentuk 2 yang diperbuat daripada aluminium mempunyai faktor keselamatan yang optimum iaitu 6.59 dan mempunyai jisim yang ringan iaitu 0.122kg. Tanpa mengira kos, sememangnya aluminium adalah pilihan yang terbaik untuk menghasilkan rod penghubung yang mempunyai kekuatan yang maksimum dan jisim yang optimum.

ABSTRACT

This study involves the strength studies and optimization of the connecting rod mass. This idea produced by my supervisor who gave the topic for the final year project. In this task, original connecting rod of the Proton Wira 1.5 is used and measured to get actual dimension. After measurements were taken, the connecting rod was drawn and designed using CATIA software to change the dimension of the actual connecting rod to get the optimum mass. After the connecting rod was drawn, it was then been analyzed to investigate/study the pressure and tension rods that occurred in the connecting rod. These analysis consisted of different types of material in order to obtain maximum strength and to achieve the objectives. Results after the final analysis showed that Design 2 is made of aluminum with the optimum safety factor of 6.59 and has a soft mass of 0.122kg. Regardless of cost, of course aluminum is the best choice for connecting rod to produce maximum strength and optimum mass.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGESAHAN PENYELIA	ii
	PENGAKUAN	iii
	DEDIKASI	iv
	PENGHARGAAN	v
	ABSTRAK	vi
	ABSTRACT	vii
	KANDUNGAN	viii
	SENARAI JADUAL	xi
	SENARAI RAJAH	xii
BAB 1	PENGENALAN	1
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Penyataan Masalah Projek	2
	1.3 Objektif Projek	2
	1.4 Skop Kajian	2

BAB 2	KAJIAN ILMIAH	3
2.1	Pengenalan	6
2.2	Analisis Beban Dan Tekanan	6
2.3	Bahan	8
2.3.1	Keluli (AISI4130)	8
2.3.2	Aluminum	9
2.3.3	Magnesium (ALOI AZ80)	9
2.3.4	Titanium	10
2.3.5	Polymeric	10
2.4	Sensitiviti Lengkokan Rod Penghubung	11
BAB 3	KAEDAH KAJIAN	14
3.1	Pandangan Keseluruhan	14
3.2	Carta Alir Kajian	15
3.2.1	Carta Alir PSM 1	15
3.2.2	Carta Alir PSM 2	16
3.3	Rekabentuk Konsep	17
3.3.1	konsep 1	17
3.3.1.1	Spesifikasi	17
3.3.2	konsep 2	18
3.3.2.1	Spesifikasi	18
3.3.3	konsep 3	19
3.3.3.1	Spesifikasi	19
3.4	Rumah Kualiti	20
3.5	Berat Keputusan Matrik	21
3.5.1	Jadual Berat Keputusan Matrik	22
3.6	Pemilihan Konsep Terbaik	23
3.7	Contoh Cara Pengiraan Rumah Kualiti	24
3.7.1	Pengiraan	25
3.8	Contoh Cara Pengiraan Bagi Konsep 1	27

3.9	Merekabentuk Rod Penghubung Menggunakan Perisian CATIA	30
3.9.1	Rekabentuk 1	30
3.9.2	Rekabentuk 2	31
3.9.3	Rekabentuk 3	32
3.10	Menganalisis Rod Penghubung Menggunakan Perisian CATIA	33
3.10.1	Kaedah Menganalisis Rod Penghubung	33
3.10.2	Keputusan Analisis	43
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	46
4.1	Analisis Beban Keseluruhan	47
4.1.1	Analisis Tekanan Von-Mises	47
4.1.2	Analisis Anjakan Vektor Translasi	49
4.2	Kekuatan Dan Kekuatan	51
4.3	Faktor Keselamatan dan Jisim	52
4.4	Perbincangan	52
BAB 5	KESIMPULAN	54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Cadangan	55
	RUJUKAN	56
	LAMPIRAN	59

SENARAI JADUAL

BIL.	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Amplitud Tegasan Yang Diperolehi Untuk Rod Penghubung Bagi Kawasan Kritikal	7
2.2	Ciri – Ciri Mekanikal Daripada Bahan Rod Penghubung Di Hyundai Motor	11
2.3	Parameter Rekabentuk Rod Penghubung.	13
4.1	Kekuatan Bahan	52
4.2	ketumpatan Bahan	52
4.3	Faktor Keselamatan	54

SENARAI RAJAH

BIL.	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Merakabentuk Rod Penghubung Menggunakan Perisian CATIA	1
2.1	Enjin Empat Lejang.	5
2.2	Rod Penghubung	6
2.3	Lengkokan Mod Rod Penghubung	12
2.4	Parameter Rekabentuk Dan Paksi Lengkokan Keratin Rentas Rod Penghubung	13
3.1	Konsep 1	17
3.2	Konsep 2	18
3.3	konsep 3	19
3.4	Rekabentuk 1	30
3.5	Rekabentuk 2	31
3.6	Rekabentuk 3	32

3.7	Analisis Statik	33
3.8	Memadankan (<i>mesh</i>)	34
3.9	Logo “mesh”	34
3.10	“Restraints”	35
3.11	Pengapit	36
3.12	Aplikasi Pengapit	37
3.13	“Surface Slider Restraint”	37
3.14	Aplikasi “Surface Slider”	38
3.15	“User Restraints”	38
3.16	Aplikasi “User – Defined Restraint”	39
3.17	Beban	39
3.18	Agihan Beban	40
3.19	Aplikasi Agihaan Beban	40
3.20	“Compute”	41
3.21	Aplikasi Gambar	41
3.22	“Model Tree”	42
3.23	“Analysis Tools”	42
3.24	“Mesh”	43
3.25	Tekanan Von – Mises	43
3.26	Anjakan Vektor Translasi	44
3.27	“Priciple Stress”	44

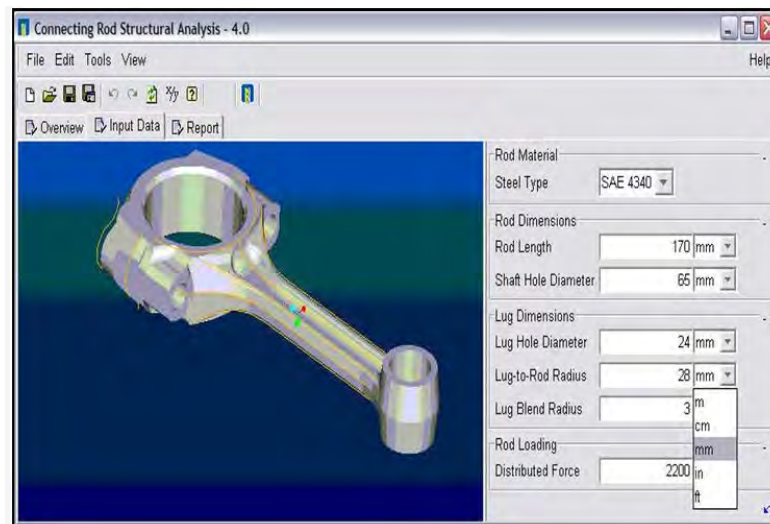
3.28	“Precision”	45
3.29	Keputusan Analisis	45
4.1	Tekanan Von – Mises Rekabentuk 1	47
4.2	Tekanan Von – Mises Rekabentuk 2	48
4.3	Tekanan Von – Mises Rekabentuk 3	48
4.4	Anjakan Vektor Translasi Rekabentuk 1	49
4.5	Anjakan Vektor Translasi Rekabentuk 2	50
4.6	Anjakan Vektor Translasi Rekabentuk 3	50

BAB 1

PENGENALAN

1.1 PENGENALAN

Rod penghubung adalah salah satu komponen automotif yang kritikal di dalam enjin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Rod ini menghubungkan antara omboh dan aci engkol yang bertujuan memutar aci engkol dan pemancar kuasa pembakaran melalui omboh kemudian aci engkol. Rod penghubung yang sangat dinamik pula dimuatkan dengan komponen yang digunakan untuk penghantaran kuasa dalam enjin pembakaran dalam. Tujuan projek ini adalah untuk merekabentuk dan menganalisis rod penghubung yang menggunakan Analisis Tak Terhingga, *Finite Element Analysis* (FEA) iaitu perisian CATIA bagi menghasilkan rod penghubung yang mempunyai kekuatan yang maksimum dan jisim yang optimum.



Rajah 1.1 : Merekabentuk rod penghubung menggunakan perisian CATIA

Sumber : Nor, M. F. (2006)

1.2 PERNYATAAN MASALAH

Rod penghubung adalah salah satu komponen yang paling kritikal di dalam sistem enjin pembakaran dalam (*Internal combustion engine*) yang mengalami beban statik dan dinamik yang berubah-ubah. Kajian bagi mengoptimumkan jisim rod penghubung telah bermula sejak awal tahun 1983. Walaubagaimanapun, pengguna akan terus mencari produk terbaik yang ada di pasaran. Pengoptimuman komponen adalah untuk menghasilkan produk yang lebih kuat, lebih ringan dan jumlah kos pengeluaran yang kurang. Rekabentuk dan jisim rod penghubung adalah salah satu pengaruh utama pada prestasi kenderaan.

1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Objektif kajian projek ini terbahagi kepada dua iaitu:

1. Merekabentuk dan menganalisis rod penghubung enjin kenderaan automotif.
2. Memaksimumkan kekuatan dan mengoptimumkan jisim rod penghubung dengan menggunakan bahan dan rekabentuk yang sesuai.

1.4 SKOP KAJIAN

Skop kajian projek ini terbahagi kepada dua iaitu:

1. Rekabentuk bagi mengoptimumkan jisim dan meningkatkan kekuatan rod penghubung dengan mengubah bahan asal dan reka bentuk rod penghubung.
2. Rekabentuk dan analisis dilakukan dalam perisian CATIA.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 PENGENALAN

Rod penghubung menyambungkan antara omboh dan engkol atau aci engkol. Bersama-sama dengan engkol, ia membentuk satu mekanisma mudah yang menukarkan gerakan salingan (linear) ke dalam gerakan berputar. Rod penghubung juga boleh menukarkan gerakan berputar ke gerakan lurus. Sebagai rod penghubung tegar, ia boleh menghantar sama ada menolak atau menarik supaya rod boleh menukar engkol melalui kedua-dua bahagian revolusi, seperti omboh menolak dan omboh menarik. Rod penghubung paling dikenali melalui penggunaannya dalam enjin pembakaran dalam seperti enjin kereta.

Rod penghubung mengalami tekanan yang tinggi dari beban salingan yang dikenakan oleh omboh, iaitu regangan dan mampatan dengan setiap putaran dan pertambahan beban kepada kuasa ketiga ditingkatkan dengan kelajuan enjin. Kegagalan rod penghubung biasanya dipanggil membuang rod (*throwing a rod*) adalah salah satu sebab yang paling biasa berlakunya kegagalan enjin dalam kereta, kekerapan meletakkan rod patah melalui kotak engkol menyebabkan enjin tidak boleh diperbaiki, ia disebabkan oleh kegagalan yang berkaitan kecacatan fizikal

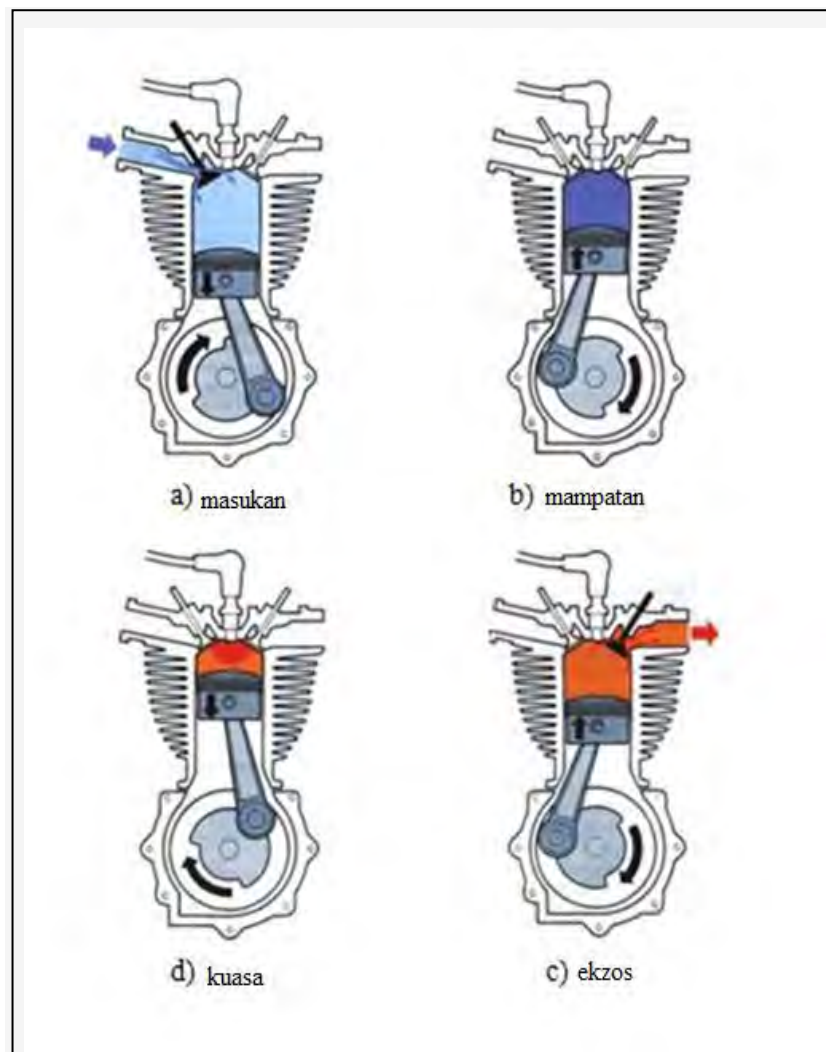
dalam rod, pelinciran, kegagalan galas (*bearing*) disebabkan penyelenggaraan yang tidak elok ataupun daripada kegagalan skru rod dari kecacatan, pengetatan yang tidak wajar atau penggunaan semula bolt (ditekankan) yang telah digunakan dimana ianya tidak digalakkan penggunaannya semula. (Nunney 2007 MJ).

Rajah 2.1 menunjukkan peranan rod penghubung dari gerakan salingan ke dalam gerakan putaran. Sebuah enjin empat lejang adalah jenis yang paling biasa. Keempat-empat lejang tersebut adalah lejang masukan, mampatan, kuasa dan ekzos. Setiap lejang memerlukan kira-kira 180 darjah putaran aci engkol, jadi kitaran lengkap mengambil masa 720 darjah. Setiap lejang memainkan peranan amat penting dalam proses pembakaran seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1. Dalam kitaran masukan, omboh bergerak ke bawah, salah satu injap akan terbuka. Ini mewujudkan vakum dan campuran udara dan bahan api disedut kedalam kebuk, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1 (a) (beban tegangan) berlaku semasa lejang mampatan kedua berlaku. Dalam mampatan kedua-dua injap tertutup dan omboh bergerak keatas dan dengan itu mewujudkan tekanan pada omboh. Secara tidak langsung, terdapat tekanan keatas rod penghubung, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1(b)(beban dimampatkan). Lejang seterusnya adalah kuasa. Semasa proses ini dimampatkan, campuran udara dan bahan api dinyalakan dengan percikan bunga api. Ini menyebabkan tekanan yang kuat menyebabkan bahan api terbakar. Kuasa-kuasa yang dikenakan oleh omboh yang dihantar melalui rod pegrhubung mengerakkan aci engkol, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1 (c) (beban tegangan). Akhirnya, lejang ekzos berlaku. Dalam lejang ini, injap ekzos terbuka kerana omboh kembali ke atas. Ia memaksa semua udara keluar dari kebuk dan dengan itu melengkapkan kitaran putaran aci engkol, seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.1 (d)(beban dimampatkan).

Rod penghubung yang dihasilkan daripada keluli aloi yang ditempa (*forging*) atau aluminium digunakan untuk menghadkan lanjutan dalam kerja awal, tujuan utama untuk mengurangkan beban pada akhir engkol dan galas (*bearing*) utama (Nunney MJ 2007). Rod penghubung yang digunakan hari ini dalah hasil daripada kemajuan dalam teknik metalurgi dan pemesinan. Rod ini adalah bahagian kritikal enjin kerana walaupun kecacatan kecil didalamnya boleh membawa kepada kegagalan enjin dalam kereta. Kebanyakan pengeluar kereta yang terlibat dalam membuat rod penghubung prestasi unggul dan berprestasi tinggi dengan harga yang

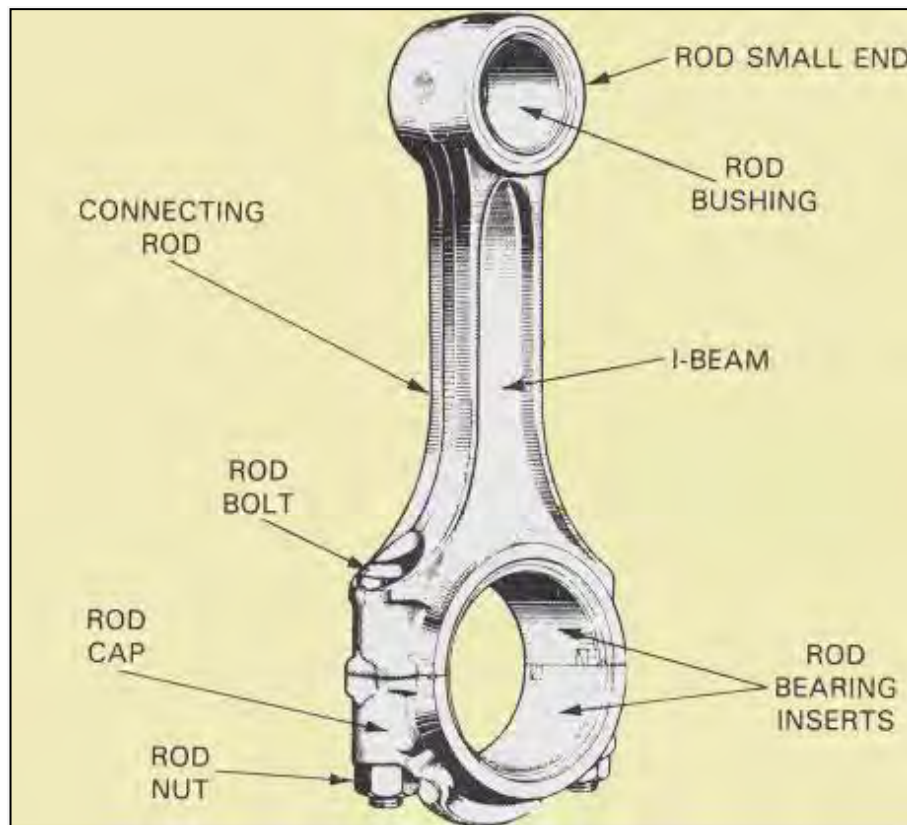
menjimatkan. Rajah 2.2 menunjukkan skematik rod penghubung yang biasa digunakan dalam enjin kereta.

Roman Celin (2008) menganalisis kekerapan seli peningkatan muatan pesat dengan peningkatan *Revolutions per minute* (RPM) enjin. Dalam banyak kes kegagalan enjin adalah disebabkan oleh kegagalan rod penghubung dan sesekali kaki penyambung yang menyambungkan rod itu patah walaupun boleh ditolak melalui sebelah kotak engkol. Terdapat banyak sebab kegagalan itu, seperti enjin terlalu panas, retak, kekurangan pelinciran gelas dan kekurangan penyenggaraan.



Rajah 2.1 : Enjin empat lejang

Sumber: Whitedoglubes, (2001)



Rajah 2.2: Rod penghubung

Sumber : Luke Schreier, (1999)

2.2 ANALISIS BEBAN DAN TEKANAN

Sonsino (1996) telah menganalisis beban yang dialami oleh rod penghubung. Rod penghubung bergantung kepada gas dan daya. Penindihan kedua-dua daya menghasilkan daya paksi yang bertindak ke atas rod penghubung. Rod penghubung juga mengalami momen lentur yang disebabkan oleh aci engkol, daya sipi (*eccentricities*) dan daya putaran. Beban paksi boleh dikira dengan mengetahui tekanan enjin dan kelajuan putaran manakala momen lentur boleh ditentukan dengan menganalisis terikan dalam enjin. Analisis tegasan kawasan kritikal dan maksimum tegasan tentang tempaan serbuk (*powder-forged*) rod penghubung juga dibincangkan

oleh Sonsino (1996).

Jadual 2.1 dibawah menunjukkan amplitud tegasan yang diperolehi bagi kawasan kritikal. Nisbah R dikira untuk keadaan yang paling teruk dengan tekanan gas $p=660\text{kPa}$, kelajuan putaran 6800 RPM dan amplitude beban $F_a = 19.2\text{kN}$. Disebabkan perubahan jisim, perbezaan beban purata dan menyebabkan nisbah-R untuk kawasan-kawasan tertentu rod penghubung diperolehi seperti yang disenaraikan dalam Jadual 2.1. Magnitud daya ombok beban sampingan dan kesalahan dinamik bagi jisim campuran dua model rod penghubung sekaligus dan model rod sebenar juga telah dibincangkan oleh Shiao dan Moskwa (1993).

Jadual 2.1: Amplitud tegasan yang diperolehi untuk rod penyambung bagi kawasan kritikal.

Area	Kt	Maximum local stress amplitude		Local endurable stress amplitude in MPa, $P_s=50\%$, $N_F=2.10^6$		Local allowable stress amplitude $\sigma_a(R)/j\sigma$ in MPa, $P_f=10^{-5}$	
		σ_a in MPa	R	$\sigma_a (R= -1)$	$\sigma_a (R)$	$J\sigma = 1.6$	$J\sigma = 2.0$
Transition small end to stem	1.36	129	-1.80	238	273	171	137
Stem	1.00	95	-1.26	222	236	148	118
Transition stem to big end	1.10	104	-1.26	232	246	154	123
Oil bore	2.8	120	-1.26	286	303	189	152
Transition	1.07	102	-0.42	228	193	121	97

Bahan: Fe = 1.5% Cu = 0.6, R = 7.10g/cm³, dipadatkan dan terbaja (*quenched and tempered*)

Sumber : Sonsino, (1996)

Kesimpulan yang dibuat bahawa ralat dalam momen inersia rod penghubung yang menggunakan model ini ialah dapat meramalkan kuasa enjin yang tidak betul dan dinamik. Dengan model rod sebenar, daya inersia model bagi perubahan jisim menjadi lebih rumit untuk dianalisis. Hujung rod yang kecil mempunyai gerakan saling sepanjang gerak (*bore*). Walau bagaimanapun, pusat laluan jisim rod menerangkan tentang elips yang menjadi sukar untuk dianalisis. Oleh itu, jisim campuran dua model rod penghubung diperkenalkan untuk diringkaskan. Rod penghubung dibahagikan kepada salingan dan putaran jisim yang menghubungkan jisim rod penyambung diganti oleh jisim campuran yang terletak di setiap hujung di pusat gerak (*bore*).

Untuk enjin satu silinder, terdapat tiga bahagian yang bergerak untuk menghantar kuasa enjin: sistem ombok, sistem rod penghubung dan sistem aci engkol. Beban paksi sebanyak 26.7kN diaplikasikan pada hujung engkol. (Pravardhan S.Shenoy, 2004).

2.3 BAHAN

Rod penghubung yang paling biasa diperbuat daripada keluli aloi atau aluminium untuk pengeluaran enjin. Ini disebabkan bahan-bahan ini mempunyai sifat-sifat yang berbeza dan sesuai untuk enjin yang berlainan (Khatiblou Ma 1994).

2.3.1 Keluli (AISI 4130)

Keluli adalah satu campuran yang terdiri kebanyakannya besi dan mempunyai kandungan karbon antara 0.2% dan 2.1% mengikut berat, bergantung kepada gred. Karbon adalah bahan yang paling biasa mengaloi besi, tetapi pelbagai unsur-unsur pengaloi lain turut digunakan seperti mangan, kromium, vanadium dan tungsten.

Karbon dan unsur-unsur lain yang bertindak sebagai ejen pengerasan, mencegah kehelan (*dislocations*) dalam atom kristal besi yang menggelongsor antara satu sama lain. Yang membezakannya ialah jumlah unsur pengaloiian dan kehadiran dalam keluli (unsur-unsur bahan larut, mencetuskan fasa) mengawal kualiti seperti kekerasan, kemuluran dan kekuatan tegangan keluli yang terhasil. Keluli dengan peningkatan kandungan karbon boleh dibuat lebih kuat dan keras daripada besi, tetapi keluli itu kurang mulur berbanding besi.

AISI 4130 adalah salah satu daripada keluli yang digunakan untuk menghasilkan rod penghubung (eFunda 2010). Dalam keadaan kembali normal, tegasan tegangan maksimum yang dibenarkan ialah 95ksi.

2.3.2 Aluminum

Beberapa komposit matriks logam (MMC) yang terdiri daripada aluminum aloi dan silikon karbida gentian berterusan telah diterokai dalam enjin kereta lumba. Pengurangan berat sebanyak 25% lebih ringan berbanding dengan keluli dan peningkatan sebanyak 25% dalam kekukuhan serta peningkatan dalam kekuatan sebanyak 20%. (Visser . D, 2008)

2.3.3 Magnesium (Aloi AZ80)

Rod penghubung yang diperbuat dari magnesium (aloi AZ80) telah berjaya dibentuk dari proses tempaan panas acuan tertutup (*closed die hot forging process*). Bahan ini mempunyai sifat –sifat tegangan daripada rod penghubung dan boleh menyaingi ujian aluminum setaraf dengannya. Satu analisis bermanfaat yang berkaitan ekonomi daripada komponen berat magnesium yang lebih ringan berbanding dengan penggunaan bahan api. Visser . D, (2008)