

SIMULASI TEKANAN SENTUHAN DINAMIK BAGI BREK CAKERA MENGGUNAKAN KAEDAH UNSUR TERHINGGA (KUT)

Abd Rahim Abu Bakar¹, Mohd Kameil Abdul Hamid² dan Khidzir Zakaria³

¹Department Of Engineering

The University of Liverpool Brownlow Street

L69 3GH Liverpool, UK

²Jabatan Kejuruteraan Aeronautik dan Automotif

³Jabatan Kejuruteraan Pembuatan dan Industri

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal

Universiti Teknologi Malaysia

81310 UTM Skudai

ABSTRAK

Tekanan sentuhan amat penting di mana ianya dapat menentukan daya kilas dan kuasa pembrekan serta tidak langsung menentukan prestasi sesuatu sistem brek. Parameter ini juga diperlukan dalam kajian hingar sistem brek. Hingga kini tiada peralatan yang boleh mengukur taburan tekanan sentuhan apabila sesuatu sistem berada di dalam keadaan dinamik. Oleh yang demikian, kaedah berangka melalui kaedah unsur terhingga (KUT) adalah pilihan yang sesuai bagi menentukan parameter ini. Kertas kerja ini bertujuan untuk mendapatkan taburan tekanan sentuhan dinamik bagi brek jenis cakera secara simulasi. Model 3 dimensi brek cakera dibina dan telah diujisahkan melalui analisis modal. Perbandingan taburan tekanan sentuhan statik antara ujikaji dan simulasi juga dibuat. Selain itu, topografi permukaan bahan geseran diambil kira dan maklumat tersebut dimasukkan ke dalam program komputer iaitu *ABAQUS v6.4* untuk disimulasikan bagi mendapatkan taburan tekanan sentuhan.

Kata kunci: brek cakera; analisis sentuhan; tekanan sentuhan dinamik; kaedah unsur terhingga; topografi bahan geseran.

PENGENALAN

Bagi komuniti penyelidikan sistem brek, tekanan sentuhan amat penting di mana ianya dapat menentukan jumlah daya kilas dan kuasa pembrekan yang terjana. Selain itu ia juga dapat menentukan prestasi sesuatu sistem brek seperti jarak dan masa henti kenderaan. Limpert (1999) menyatakan rekabentuk sistem brek yang

baik seharusnya menghasilkan taburan tekanan sentuhan yang sekata di mana kehausan di bahagian tertentu pada bahan geseran dapat dielakkan. Tekanan sentuhan juga merupakan parameter penting bagi penyelidik yang mengkaji hingar pada sistem brek di mana analisis nilai-eigen kompleks (*complex eigenvalue analysis*) digunakan (Liles 1989).

Hingga kini, beberapa kajian telah dilakukan untuk mendapatkan tekanan sentuhan bagi sistem brek jenis cakera sama ada melalui ujikaji atau simulasi. Namun demikian, bagi kaedah ujikaji cuma tekanan sentuhan statik sahaja yang boleh diperolehi. Kajian terhadap tekanan sentuhan dinamik secara kaedah berangka dapat dilihat dari hasil kerja Tirovic dan Day (1991), Hohmann et al. (1999), Tamari et al. (2000) dan Abu Bakar dan Ouyang (2004). Manakala kajian terhadap tekanan sentuhan statik secara ujikaji dilakukan oleh Tumbrink (1989) dan Samie dan Sheridan (1990).

Oleh kerana belum ada peralatan yang berkebolehan untuk mengukur tekanan sentuhan dinamik, kaedah unsur terhingga merupakan pilihan yang sesuai buat masa kini. Namun begitu, keputusan simulasi yang diperolehi mungkin kurang memuaskan. Oleh yang demikian, model unsur terhingga yang dibina seharusnya diujisahkan melalui analisis yang sesuai bagi memastikan hasil simulasi yang diperolehi boleh diterima. Berdasarkan pemerhatian terhadap kajian melalui kaedah berangka yang dilakukan oleh penyelidik di atas, tiada satu pun model diujisahkan melalui analisis sentuhan. Oleh kerana ujikaji terhadap tekanan sentuhan statik boleh dilakukan, maka model unsur terhingga seharusnya dapat diujisahkan berdasarkan maklumat tersebut. Ini secara tidak langsung meningkatkan keboleharapan model yang dibina.

Sebelum ini, para penyelidik hanya mengujisahkan model unsur terhingga mereka melalui analisis modal sama ada di peringkat komponen atau pun di peringkat pemasangan. Di peringkat komponen, analisis modal dilakukan pada komponen brek yang berada di dalam keadaan sempadan bebas. Manakala di peringkat pemasangan (*assembly*) cakera diikat pada teras gantungan (*suspension hub*). Kajian yang dibentangkan dalam kertas kerja ini mengambilkira tiga peringkat pengujisahkan iaitu di peringkat seperti yang dinyatakan di atas disamping mengujisahkan model melalui analisis sentuhan di mana keputusan simulasi akan dibandingkan dengan keputusan ujikaji berdasarkan tekanan sentuhan statik. Bagi tujuan itu, filem penunjuk tekanan (*pressure-indicating film*) digunakan dan model 3 dimensi brek cakera dibina dan disimulasikan menggunakan program komputer komersial, *ABAQUS v6.4*. Pengukuran dilakukan bagi mendapatkan keadaan permukaan sebenar bahan geseran. Maklumat yang diperolehi ini akan dimasukkan ke dalam program komputer. Perbandingan keputusan tekanan sentuhan statik antara dua model permukaan bahan geseran juga dibuat.

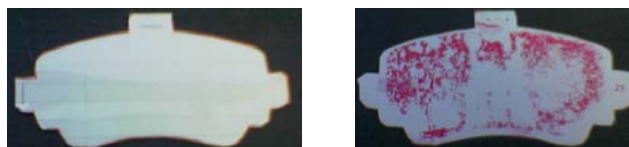
UJIKAJI TEKATAN SENTUHAN

Ujikaji ini dijalankan menggunakan penjana brek di University of Liverpool. Sistem brek yang dikaji adalah cakera padu jenis angkup apungan (*solid disc of floating caliper design*). Rajah 1 menunjukkan sistem brek tersebut.



RAJAH 1 Sistem brek cakera jenis angkup apungan

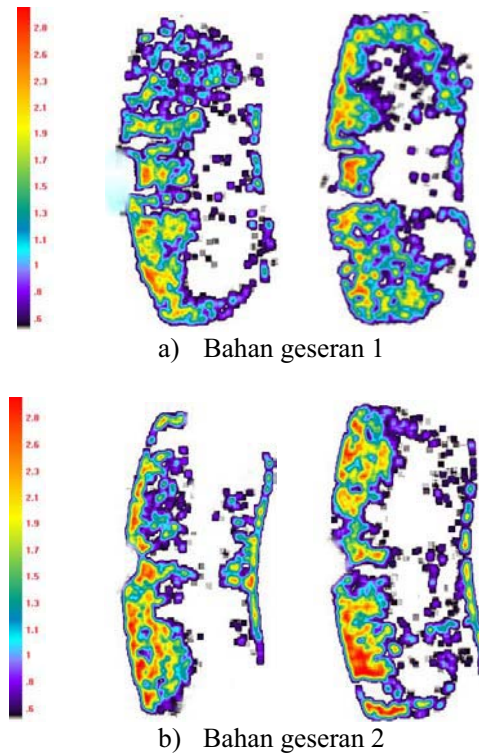
Pengukuran tekanan sentuhan dilakukan dengan menggunakan filem khas. Filem jenis *Super Low* yang boleh menampung tekanan antara 0.5~2.8 MPa digunakan. Filem tersebut perlu dipotong mengikut bentuk geometri bahan geseran supaya ianya mudah diletakkan antara permukaan cakera dan bahan geseran. Tekanan brek dikenakan pada tahap tertentu pada sistem selama 30 saat sebelum filem tersebut dikeluarkan. Rajah 2 menunjukkan keadaan filem sebelum dan selepas ujikaji dilakukan. Bagi mendapatkan maklumat secara kuantiti dan kualiti iaitu magnitud dan taburan tekanan, filem tersebut akan diproses menggunakan Sistem Analisa Tekanan Topaq. Sistem ini dapat mengimbas dan mentafsir imej yang terhasil daripada filem. Hasil daripada sistem ini ditunjukkan pada bahagian berikutnya.



RAJAH 2 Keadaan filem sebelum (kiri) dan selepas (kanan) ujikaji.

Di dalam kajian ini, dua pasang bahan geseran digunakan. Kedua-duanya dihasilkan oleh pengeluar yang sama. Pelapik peredam (*damping adapter*) yang asalnya dipasang telah dibuang untuk memastikan model unsur terhingga lebih mudah dibina. Untuk ujikaji yang dijalankan tekanan sebanyak 2.5 MPa dikenakan ke atas sistem brek. Rajah 3 menunjukkan taburan tekanan sentuhan

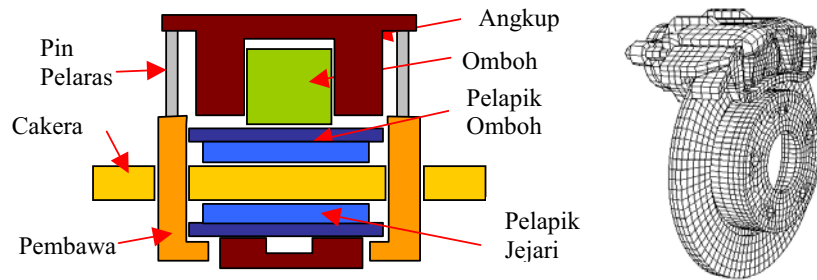
statik yang terhasil setelah diproses oleh Sistem Analisa Tekanan Topaq bagi kedua-dua pasang bahan geseran. Berdasarkan hasil keputusan ini, model unsur terhingga dapat diujisahkan dengan membandingkan keputusan yang diperolehi. Perbandingan ini penting bagi memastikan model yang dibina boleh memberi keboleharapan yang tinggi dan memberi hasil yang memuaskan apabila tekanan sentuhan dinamik ingin diperolehi.



RAJAH 3 Keputusan ujikaji menggunakan sistem analisa tekanan topaq. pelapik omboh (kiri) dan pelapik jejari (kanan)

MODEL UNSUR TERHINGGA

Model ini terdiri daripada beberapa komponen iaitu cakera padu, angkup (*caliper*), omboh, pin pelaras, pelapik bahan geseran dan pembawa (*carrier*). Rajah 4 menunjukkan komponen brek dan juga model unsur terhingga yang dibina.



RAJAH 4 Rajah skematik komponen brek (kiri) dan model unsur terhingga (kanan).

Analisis modal lazimnya dilakukan untuk mengujisahkan model unsur terhingga. Jadual 1 dan 2 menunjukkan perbandingan keputusan antara ujikaji dan simulasi. Hanya keputusan yang melibatkan komponen cakera sahaja ditunjukkan. Daripada perbandingan yang dibuat, jumlah ralat yang wujud adalah kecil iaitu kurang daripada 3 peratus. Ini menunjukkan model unsur terhingga mempunyai pertalian yang baik dengan sifat mekanikal brek yang sebenar.

JADUAL 1 Analisa modal bagi cakera pada keadaan sempadan bebas

Mode	2ND*	3ND	4ND	5ND	6ND	7ND
Ujikaji (Hz)	937	1809	2942	4371	6064	7961
Simulasi (Hz)	944	1819	2942	4357	6029	7922
Ralat (%)	0.8	0.6	0.0	-0.3	-0.6	-0.5

ND* adalah Nodal Diameters

JADUAL 2 Analisa Modal bagi pemasangan yang diukur pada cakera

Mode	2ND	3ND	3ND	4ND	5ND	6ND	7ND
Ujikaji (Hz)	1287.2	1750.7	2154.9	2980.4	4543.7	6159.0	7970.0
Simulasi (Hz)	1295.9	1713.9	2193.2	3044.7	4535.1	6077.9	8050.0
Ralat (%)	0.7	-2.1	1.8	2.2	-0.2	-1.3	1.0

Pengukuran pada permukaan bahan geseran dibuat menggunakan alat pengukur lurus seperti ditunjukkan dalam Rajah 5. Ini bagi mendapatkan bentuk permukaan atau topografi sebenar bahan geseran. Pengukuran terhadap permukaan bahan geseran belum pernah dilakukan oleh para penyelidik sebelum ini. Oleh itu mereka menganggap bahawa permukaan model pelapik bahan geseran adalah licin dan sekata.

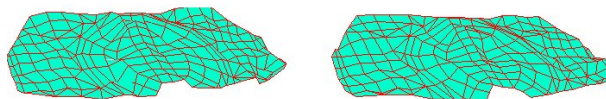


RAJAH 5 Alat pengukur lurus digunakan untuk mendapatkan taburan ketinggian permukaan bahan geseran

Pengukuran dilakukan berdasarkan nod yang terhasil daripada model bahan geseran. Rajah 6 menunjukkan permukaan dua pasang bahan geseran yang diukur. Ianya jelas menunjukkan bahawa permukaan bahan geseran adalah tidak sekata. Oleh yang demikian, anggapan bahawa permukaan model pelapik bahan geseran adalah licin dan sekata tidak lagi boleh diterimapakai. Kemungkinan besar hasil simulasi yang diperolehi untuk mendapatkan tekanan sentuhan dinamik adalah kurang memuaskan.



a) Bahan Geseran 1



b) Bahan Geseran 2

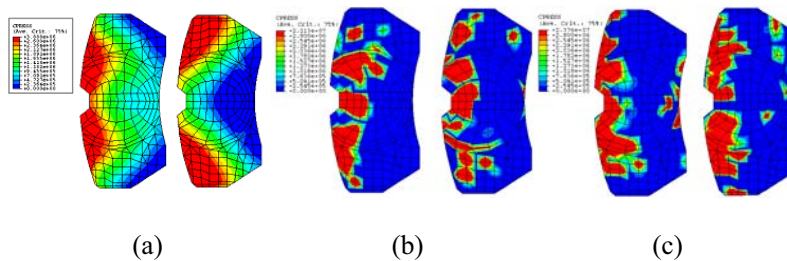
RAJAH 6 Topografi Bahan Geseran Pelapik Omboh (kiri) dan Pelapik Jejeri (kanan)

ANALISIS SENTUHAN

Setelah pengukuran permukaan bahan geseran dilakukan, maklumat yang diperolehi dimasukkan ke dalam program komputer *ABAQUS v6.4*. Program

komputer ini berkebolehan untuk mendapatkan tekanan sentuhan lebih baik kerana ianya menggunakan elemen permukaan berbanding nod bagi program komputer yang lain. Pada peringkat awal, simulasi terhadap tekanan sentuhan statik dijalankan untuk mengujisahkan model unsur terhingga yang dibina. Perbandingan juga dibuat antara model yang mengambil kira topografi pelapik bahan geseran dengan model yang dianggap mempunyai permukaan bahan geseran licin dan sekata. Dalam simulasi ini pekali geseran static $\mu = 0.6$ digunakan.

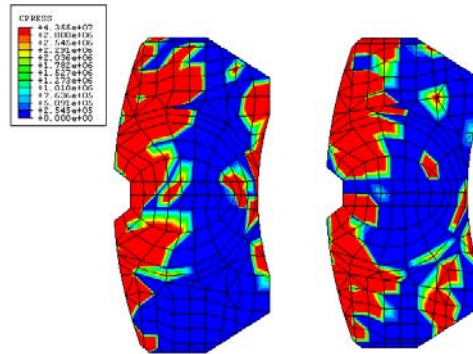
Rajah 7 menunjukkan hasil simulasi tekanan sentuhan statik. Jika dilihat pada model yang mempunyai permukaan bahan geseran adalah licin dan sekata (Rajah 7a), taburan tekanan adalah simetri bagi kedua-dua pelapik ombok (*piston pad*) dan pelapik jejari (*finger pad*). Jika dibandingkan dengan keputusan ujikaji seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3, ianya jauh berbeza. Manakala bagi model yang mengambil kira permukaan bahan geseran (Rajah 7b dan 7c), taburan tekanan adalah tidak simetri dan bertaburan. Namun jika dibandingkan dengan hasil ujikaji, taburan yang diperolehi hampir sama. Oleh yang demikian, anggapan bahawa permukaan pelapik bahan geseran adalah licin dan sekata tidak lagi boleh diterima.



Rajah 7 Taburan tekanan sentuhan statik : a) permukaan licin dan sekata, c) bahan geseran 1 dan c) bahan geseran 2

Setelah model diujisahkan melalui taburan tekanan sentuhan statik, maka simulasi untuk mendapatkan taburan tekanan sentuhan dinamik dilakukan. Oleh kerana ruangan adalah terhad, hanya satu model sahaja akan disimulasikan iaitu bagi pelapik bahan geseran 2. Bagi tujuan ini, simulasi dijalankan pada kelajuan $v = 110 \text{ km/j}$ dan tekanan brek pada 4 MPa. Rajah 8 menunjukkan taburan tekanan sentuhan dinamik pada kelajuan tersebut.

Hasil daripada simulasi tersebut didapati luas kawasan sentuhan bagi pelapik ombok adalah $A_o = 1.2435\text{E-}3$ meter dan pelapik jejari, $A_j = 1.2934\text{E-}3$ meter. Manakala luas kawasan sebenar bahan geseran adalah $A_a = 3.90\text{E-}3$ meter. Ini bermakna pelapik ombok hanya memberi 32 peratus sahaja luas permukaan yang bersentuhan dengan cakera manakala 33 peratus bagi pelapik jejari. Hasil daripada luas permukaan ini para jurutera dapat menentukan jumlah daya kilas dan kuasa pembrekan seterusnya menentukan prestasi sebenar sistem brek mahupun bahan geseran yang dihasilkan.



RAJAH 8 Taburan tekanan sentuhan dinamik pada kelajuan $v = 110$ km/j dan Tekanan $P = 4$ MPa. pelapik omboh (kiri) dan pelapik jejari (kanan)

KESIMPULAN

Taburan tekanan sentuhan dinamik diperolehi melalui kaedah unsur terhingga. Model unsur terhingga telah diujisahkan melalui tiga peringkat dan menggunakan dua jenis analisa iaitu analisis modal dan analisis sentuhan. Ini belum pernah dilakukan oleh mana-mana penyelidik. Daripada kajian yang dilakukan anggapan bahawa model pelapik bahan geseran mempunyai permukaan yang licin dan sekata tidak lagi boleh diterimapakai sekiranya ingin mendapatkan hasil taburan tekanan sentuhan dinamik yang lebih baik. Pengukuran terhadap permukaan bahan geseran perlu dilakukan dan topografi pelapik bahan geseran perlu diambil kira. Ini bagi memastikan pengiraan daya kilas atau kuasa pembrekan dapat dilakukan dengan lebih tepat lagi disamping prestasi sistem brek dapat dinilai dengan lebih berkesan.

PENGHARGAAN

Penulis merakam ucapan terima kasih kepada Sensor Products Inc. yang menyumbang dan memproses imej filem, Dr Simon James yang menjalankan analisa modal dan Universiti Teknologi Malaysia yang menyediakan bantuan/peruntukan terhadap penyelidikan ini.

RUJUKAN

- Abu Bakar A. R. & Ouyang H. 2004. Contact pressure distributions by simulated structural modifications, *Proceedings of Braking 2004: Vehicle Braking and Chassis Control*: 123-132.
- Hohmann C., Schiffer K., Oerter K. & Reese H. 1999. Contact analysis for drum brakes and disk brakes using ADINA, *Computers and Structures*, 72, pp. 185-198.
- Liles G. D. 1989. Analysis of disc brake squeal using finite element method, *SAE Technical Paper*, 891150.
- Limpert R. 1999. Brake design and safety, 2nd Edition, *SAE Books*, Warrendale, PA.
- Samie F. & Sheridan D. C. 1990. Contact analysis for a passenger cars disc brake, *SAE Technical Paper*, 900005.
- Tamari J., Doi K. & Tamasho T. 2000. Prediction of contact pressure of disc brake pad, *SAE Review*, 21, pp. 133-141.
- Tirovic M. & Day A. J. 1991. Disc brake interface pressure distributions, *Proceedings of ImechE, Part D* (205): 137-146
- Tumbrink H. J. 1989. Measurement of load distribution on disc brake pads and optimization of disc brakes using the ball pressure method, *SAE Technical Paper*, 890863.

