

Aliran Dua Fasa Di Bahagian Mendatar Telaga

Azmi Mohd Arshad, Ariff Othman, Mohd Razif Abd. Razak dan Mohamad Abu Bakar
Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur.

ABSTRAK

Kejatuhan aliran dua fasa di sepanjang telaga mendatar banyak mempengaruhi prestasi pengeluaran dan rekabentuk telaga. Sehingga kini tidak ada korelasi yang menyatakan hubungan kejatuhan tekanan aliran dua fasa di bahagian mendatar telaga dan interaksinya dengan reserbor. Satu ujikaji makmal telah dilakukan menggunakan campuran air dan udara sebagai bendalir dua fasa yang dialirkan sepanjang paip lutsinar PVC. Aliran masuk daripada luaran (reserbor) disalurkan melalui pelapik bertebuk yang dipasang pada suatu tempat di bahagian atas paip PVC. Kajian dijalankan dengan memperbagaikan kadar aliran dan nisbah gas-cecair. Tekanan di sepanjang paip diukur dan dicatatkan. Keputusan ujikaji telah menunjukkan kejatuhan tekanan di sepanjang paip PVC ini adalah sebahagian besarnya (95% - 97%) disebabkan oleh kesan kemasukan bendalir daripada luaran. Satu persamaan/korelasi yang sesuai untuk menerangkan kesan ini telah dibangunkan.

PENGENALAN

Telaga mendatar telah agak lama diperkenalkan. Telaga mendatar pertama telah digerudi di Havener Run, Amerika Syarikat.¹ Walau bagaimanapun pada waktu itu kegiatan tersebut kurang menarik minat syarikat-syarikat minyak yang lain untuk diteruskan kerana masalah teknologi dan kos yang tinggi. Kini kelebihan telaga mendatar telah terbukti kerana prestasi pengeluarannya adalah jauh lebih baik daripada telaga menegak terutamanya pada reserbor yang nipis. Keupayaan daya pengeluarannya tinggi iaitu di antara dua hingga sepuluh kali berbanding dengan kaedah biasa dan seterusnya mengurangkan berlakunya kekonan serta penghasilan kadar puncak yang tinggi. Penggunaan telaga mendatar juga didorong oleh teknologi canggih yang dapat memenuhi keperluan penggerudian dan pelengkapan telaga mendatar.

Walaupun telaga mendatar memberikan pengeluaran yang memuaskan, namun kajian terhadap aspek-aspek reserbor dan prestasi pengeluarannya masih lagi tidak meluas. Anggapan yang dibuat bahawa perbezaan tekanan di sepanjang telaga adalah kecil dan boleh diabaikan haruslah dikaji dengan teliti. Ini adalah perlu untuk penganalisisan ujian telaga dan penggunaan simulasi reserbor. Dalam keadaan sebenar, tekanan di bahagian hulu adalah lebih tinggi daripada di bahagian hiliran untuk memastikan aliran akan berlaku di dalam telaga. Oleh itu kejatuhan tekanan ini tidaklah boleh diabaikan dalam pengiraan kerana ia akan memberikan pengaruh yang penting dalam penentuan prestasi pengeluaran. Ia mungkin amat ketara apabila bendalir yang dikeluarkan mempunyai kelikatan, ketertelapan reserbor dan kadar pengeluaran yang tinggi.

Kajian aliran dua fasa dalam paip telah lama dilakukan. Poetman dan Carpenter² adalah penyelidik yang agak berjaya membuka jalan ke arah pemahaman permasalahan ini. Mereka telah menggunakan data daripada 49 telaga minyak untuk membentuk korelasi mereka. Beberapa penyelidik yang lain³⁻¹⁴ kemudiannya telah mengubahsuai korelasi mereka dan seterusnya membentuk korelasi yang baharu berdasarkan data lapangan dan ujikaji. Beberapa penyelidik seperti Giger dan kawan-kawan¹⁵⁻¹⁸ dan Joshi¹⁹ pula telah menerangkan aliran dalam tiga dimensi daripada reserbor ke arah telaga mendatar. Persamaan matematik telah dibentuk (indeks pengeluaran) dan ianya telah digunakan dengan agak meluas oleh pengguna simulasi reserbor. Walau bagaimana pun kajian tentang gabungan di antara aliran di dalam paip dan reserbor ini amat kurang dilakukan dan ianya merupakan satu fenomena yang agak baru. Dikken²⁰ bolehlah dianggap orang yang pertama membuktikan bahawa gabungan di antara kedua perkara ini adalah amat penting. Beliau telah membentuk persamaan matematik yang boleh digunakan untuk menganggarkan kesan kejatuhan tekanan di bahagian mendatar telaga terhadap prestasi pengeluaran. Beberapa penyelidik lain seperti Islam dan Chakma²¹, Ihara²² dan Mohd Arshad²³ telah membuat beberapa kajian dalam perkara ini tetapi tiada satu pun yang berjaya membentuk satu korelasi/persamaan yang dapat dibuktikan kesahihannya dalam menerangkan hubungkait antara aliran dalam telaga mendatar dan reserbor.

Kertas kerja ini telah membincangkan tentang satu model matematik dan ujikaji yang dapat menggambarkan keadaan telaga mendatar. Model ini berupaya untuk digunakan bagi menentukan kesan kejatuhan tekanan yang sebenar dalam telaga mendatar. Satu persamaan atau korelasi telah dibentuk dan dinyatakan di akhir kertas kerja.

MODEL MATEMATIK

Satu model matematik telah dibentuk untuk menyatakan persamaan bagi kejatuhan tekanan di bahagian mendatar telaga. Persamaan ini dibentuk untuk menjadi asas kepada pembentukan korelasi daripada ujikaji dan juga untuk dibuat perbandingan di antara keduanya.

Persamaan untuk model ini dinyatakan seperti di bawah:

1. Pengabadian persamaan jisim

$$d/dz (\rho_l \alpha_l A_p u_l) = d/dz (\rho_l Q_l) + d/dz (S_{gl}) \quad (1)$$

$$d/dz (\rho_g \alpha_g A_p u_g) = d/dz (\rho_g Q_g) - d/dz (S_{gl}) \quad (2)$$

2. Pengabadian persamaan momentum

$$d/dz (\rho_l \alpha_l u_l^2) = -\alpha_l (dp/dz) - \rho_l \alpha_l G \sin\theta - F_{wl} + Fil_g \quad (3)$$

$$d/dz (\rho_g \alpha_g u_g^2) = -\alpha_g (dp/dz) - \rho_g \alpha_g G \sin\theta - F_{wg} - Fil_g \quad (4)$$

di mana,

- ρ = ketumpatan fasa
- u = halaju fasa
- Q = kadar alir isipadu disebabkan oleh sumber luar masuk dan meninggalkan telaga
- S_{gl} = kadar penghantaran jisim di antara fasa bendalir dan gas
- α = pecahan isipadu untuk setiap fasa
- P = tekanan lubang telaga
- F_w = Kadar penghantaran dinding momentum disebabkan oleh geseran
- F_{ilg} = kadar penghantaran momentum antara fasa
- G = kecepatan disebabkan oleh graviti
- θ = sudut kecondongan telaga daripada bahagian mendatar
- z = jarak sepanjang lubang telaga
- A_p = luas keratan rentas paip
- g = fasa gas
- l = fasa cecair

Setelah disusun semula dan diselesaikan persamaan serentak, persamaan akhir yang diperolehi selepas kesan kecepatan dan penghantaran jisim antara fasa diabaikan adalah seperti berikut:

$$- dp/dz = (\alpha_l \rho_l + \alpha_g \rho_g) G \sin\theta + F_{wl} + F_{wg} + 1/A_p [u_l d/dz (\rho_l Q_l) + u_g d/dz (\rho_l Q_g)] \quad (5)$$

atau

Jumlah kecerunan = kecerunan hidrostatik + kecerunan geseran + kecerunan fluks momentum.

REKABENTUK UJIKAJI

Rekabentuk dan binaan peralatan ujikaji adalah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 1. Paip lutsinar PVC diletakkan di atas rasuk besi mendatar di mana ralat sudut mendatar adalah +/- 2°. Paip ini bergarispusat 1 inci dan ditebuk pada dua tempat. Salah satu daripada lubang tersebut dipasangkan pelapik bertebuk bergarispusat 2.5 inci manakala yang satu lagi hanya ditebuk dengan satu lubang sahaja (aliran masuk secara terus). Pelapik bertebuk mempunyai 11 lubang bergarispusat 0.25 inci pada jarak yang sama. Rajah 2 menunjukkan pelapik bertebuk yang digunakan dalam ujikaji. Tolok tekanan diletakkan sejauh 2.5 kaki sebelum dan selepas lubang.

Air digunakan sebagai cecair manakala udara sebagai gas. Kedua-dua bendalir ini akan bercampur di sambungan 'T' dan mengalir sebagai aliran dua fasa. Pam mengalirkan air dari tangki takungan air ke sepanjang talian air. Aliran air kemudiannya akan dikawal dengan melaraskan injap sebelum sampai ke meteralir air. Sementara itu pemampat udara beroperasi bagi mengalirkannya udara ke sepanjang talian udara.

Injap-injap dilaraskan untuk mendapatkan kadaralir air dan udara tertentu sebelum air dan udara bercampur. Kadaralir air dan udara diukur menggunakan meteralir. Air dan udara akan bercampur di sambungan 'T'. Panjang talian dua fasa dibuat lebih daripada satu kaki supaya kedua bendalir ini akan bercampur dengan sepenuhnya dan dalam keadaan stabil sebelum ia memasuki bahagian mendatar telaga. Apabila aliran dua fasa yang mengalir dalam keadaan mendatar telah stabil maka bacaan-bacaan atau data ujikaji yang diperlukan iaitu kadaralir kedua-dua bendalir dan tekanan diambil. Jadual 1 menunjukkan sifat-sifat bendalir dan keadaan semasa ujikaji dijalankan manakala Rajah 3 pula menunjukkan corak aliran semasa ujikaji dijalankan (terputus-putus).

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Ujikaji telah dijalankan supaya permasalahan di bawah ini dapat diselesaikan.

1. Penentuan kekasaran paip
2. Perbandingan kesan fluks bendalir dua fasa terhadap kejatuhan tekanan antara pelapik bertebuk dan selongsong satu tebuk.
3. Perbandingan kejatuhan tekanan oleh fluks bendalir dengan geseran paip.
4. Pembangunan persamaan/korelasi kejatuhan tekanan dalam telaga mendatar.

Penentuan Kekasaran Paip

Ujikaji aliran satu fasa tanpa fluks air dijalankan bertujuan untuk menentukan faktor geseran pada keadaan bergelora (dianggap tetap) dan kekasaran paip, ϵ , yang digunakan. Penentuan faktor geseran paip dilakukan dengan menggunakan persamaan di bawah.

$$\Delta P = (f\rho v^2 L)/(2g_c d)$$

di mana

- v = halaju bendalir, m/s
- ρ = ketumpatan air, 994.4 kg/ms²
- g_c = cecatan gravity, 9.81 m/s²
- d = diameter paip, m

Purata faktor geseran, f , dalam ujikaji ialah 0.00183. Nilai faktor geseran ini adalah lebih kecil daripada nilai faktor geseran minimum pada Carta Moody iaitu 0.008. Oleh itu paip ini adalah dikategorikan sebagai paip licin dan nilai kekasaran paip, ϵ , adalah menghampiri sifar. Walau bagaimanapun nilai $f = 0.00183$ akan digunakan untuk pengiraan kejatuhan tekanan pada ujikaji aliran satu fasa dengan fluks air.

Perbandingan Kesan Jenis Tebukan Terhadap Kejatuhan Tekanan

Rajah 4 telah menunjukkan perbandingan kejatuhan tekanan antara kedua-dua jenis penebuk iaitu pelapik bertebuk dan tebukan satu lubang. Geraf telah menunjukkan kejatuhan tekanan merentasi kedua-dua jenis penebukan adalah

hampir sama sahaja. Oleh itu kesimpulan yang dapat dibuat ialah kejatuhan tekanan bukanlah disebabkan oleh corak tebuhan tapi disebabkan oleh jumlah kadar alir masuk bendalir luaran dan halaju bendalir dalam paip itu sendiri.

Perbandingan Kejatuhan Tekanan Oleh Fluks Air Dengan Geseran

Perbandingan antara kejatuhan tekanan oleh geseran paip dan fluks air juga dilakukan. Bagi menjalankan ujikaji ini, aliran satu fasa (air sahaja) digunakan. Rajah 5 menunjukkan keputusan ujikaji tersebut yang memperlihatkan kesan geseran paip dan fluks air terhadap kejatuhan tekanan. Daripada pengiraan kejatuhan tekanan oleh geseran, kejatuhan tekanan sepatutnya adalah antara 0.01 psi hingga 0.05 psi bagi sela kadar alir yang digunakan, tetapi bacaan yang diperolehi daripada ujikaji adalah antara 0.24 psi hingga 1.10 psi. Oleh itu peratus kejatuhan tekanan yang disebabkan oleh fluks air adalah 95% - 97% daripada jumlah kejatuhan tekanan.

Hasil daripada ujikaji menunjukkan kejatuhan tekanan oleh gangguan akibat fluks air adalah besar dan amat penting dalam peramalan kejatuhan tekanan berbanding dengan geseran paip. Keadaan ini juga dipercayai benar bagi aliran dua fasa. Oleh itu anggapan bahawa kejatuhan tekanan dalam telaga mendatar boleh diabaikan perlulah dikaji semula dengan teliti kerana ia sangat mempengaruhi kadar pengeluaran dan rekabentuk telaga.

Pembangunan Persamaan/korelasi Kejatuhan Tekanan Di Sepanjang Telaga Mendatar

Dari persamaan (5), kejatuhan tekanan disebabkan oleh fluks bendalir ke dalam paip adalah

$$- dp/dz = 1/A_p [u_l d/dz (\rho_l Q_l) + u_g d/dz (\rho_l Q_g)] \quad (6)$$

Sebanyak 81 set kadar alir udara dan air diperbagaikan dalam ujikaji ini untuk menentukan kesahihan persamaan di atas. Oleh kerana ujikaji awal telah menunjukkan kejatuhan tekanan yang disebabkan oleh geseran terlalu kecil, maka faktor ini diabaikan dalam membentuk persamaan ini. Oleh itu satu plot kejatuhan tekanan melawan $1/A_p [u_l d/dz (\rho_l Q_l) + u_g d/dz (\rho_l Q_g)]$ telah dibuat. Rajah 6 menunjukkan keputusan ujikaji tersebut. Purata kecerunan graf didapati 2.0 dan bukannya 1.0 seperti yang dijangkakan. Oleh itu kejatuhan tekanan oleh ujikaji adalah dua kali ganda daripada teori matematik. Daripada ujikaji, persamaan baru yang dibentuk untuk menerangkan kejatuhan tekanan oleh fluks bendalir adalah

$$- dp/dz = 2/A_p [u_l d/dz (\rho_l Q_l) + u_g d/dz (\rho_l Q_g)] \quad (7)$$

KESIMPULAN DAN CADANGAN

Kesimpulan

1. Kejatuhan tekanan oleh fluks bendalir tidak dipengaruhi oleh bentuk tebukan tetapi hanya bergantung kepada kuantiti dan halaju bendalir.
2. Kejatuhan tekanan pada bahagian mendatar paip adalah sebahagian besarnya disebabkan oleh fluks bendalir daripada luaran. Ini menunjukkan bahawa bagi sesebuah telaga mendatar, sebahagian besar kejatuhan tekanan di bahagian mendatar telaga adalah disebabkan oleh kesan aliran masuk bendalir daripada reserbor. Oleh itu anggapan bahawa kejatuhan tekanan dalam telaga mendatar boleh diabaikan perlulah dikaji semula dengan teliti kerana ia sangat mempengaruhi kadar pengeluaran dan rekabentuk telaga.
3. Sebuah persamaan/korelasi berpandukan kepada ujikaji makmal telah dibentuk untuk menerangkan kesan fluks bendalir ke dalam paip.

Cadangan

Persamaan/korelasi yang dibentuk di atas masih tidak dapat menunjukkan kesan sebenar kejatuhan tekanan di sepanjang telaga mendatar. Oleh itu satu aturcara komputer hendaklah dibentuk menggunakan persamaan ini untuk meramalkan kesan kejatuhan tekanan terhadap prestasi pengeluaran telaga. Aturcara komputer ini hendaklah juga berupaya menentukan panjang yang optimum bagi sesebuah telaga mendatar berdasarkan kepada data-data telaga, reserbor, dan bendalir pengeluaran yang digunakan.

Penghargaan

Kami berterima kasih kepada saudara Azman Abrol yang turut membantu kerja-kerja penyelidikan ini. Tidak lupa juga terima kasih kami kepada pihak UPP yang membiayai perbelanjaan projek ini.

Rujukan

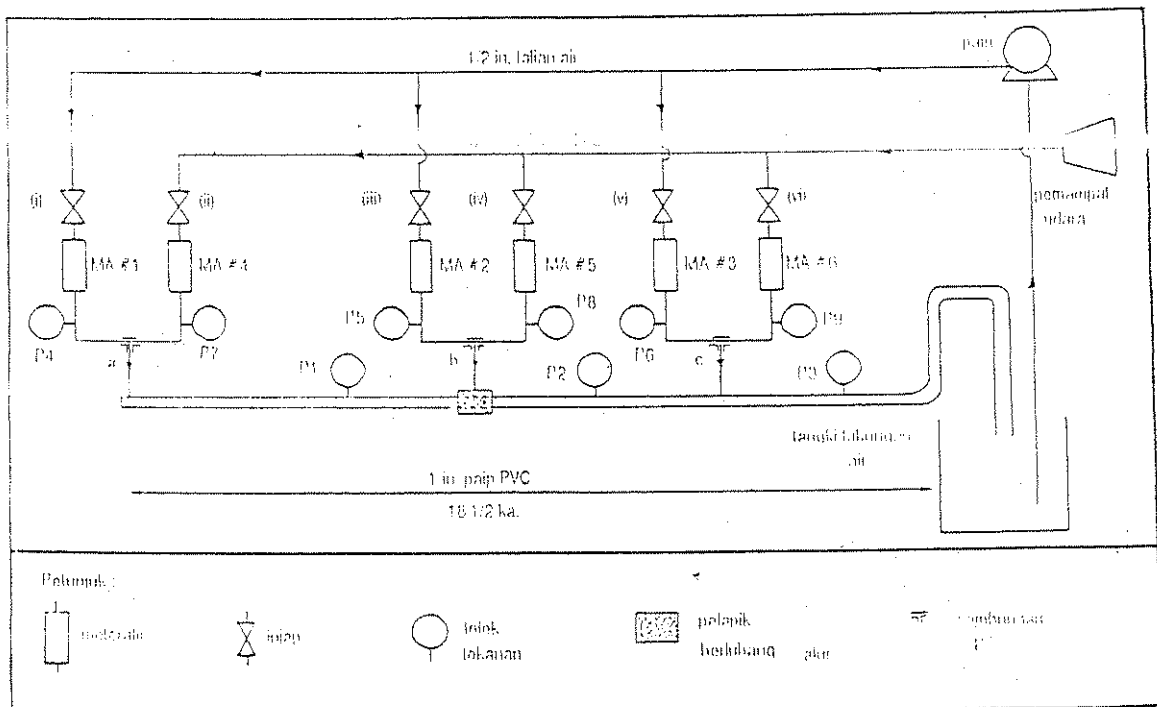
1. RANNEY, L., "The First Horizontal Well", Petroleum Engineer (June, 1939), 25-30.
2. POETTMAN, F.H. and CARPENTER, P.G., "The Multiphase Flow of Gas, Oil, and Water Through Vertical Flow Strings With Application to the Design of Gas Lift Installations", Drilling and Production Practice (1952), 257.
3. BAXENDELL, P.B. and THOMAS, R. "The Calculation of Pressure Gradients in High Rate Flowing Wells", Jour. Petr. Tech. (October, 1961), 1023.
4. ROS, N.C.J., "Simultaneous Flow of Gas and Liquid as Encountered in Well

- Tubing", Jour. Petr. Tech. (October, 1961), 1037.
5. FANCHER, G.H., JR. and BROWN, K.E., "Prediction of Pressure Gradients for Multiphase Flow in Tubing", Soc. Petr. Engr. Journal (March, 1963), 59.
 6. DUKLER, A.E., WICKS, and CLEVELAND, R.G., "Frictional Pressure Drop in Two Phase Flow: A Comparison of Existing Correlations for Pressure Loss and Holdup. B. An Approach Through Similarity Analysis", A.I.Ch.E. Journal (Jan, 1964),
 7. HAGERDORN, A.R. and BROWN, K.E., "The Effect of Liquid Viscosity in Vertical Two Phase Flow", Jour. Petr. Tech. (February, 1964), 203.
 8. HAGERDORN, ALTON R. and BROWN, KERMIT E., "Experimental Study of Pressure Gradients Occurring During Continuous Two Phase Flow in Small Diameter Vertical Conduits", Jour. Petr. Tech. (April, 1965),
 9. ORKIZEWSKI, J., "Predicting Two Phase Pressure Drops in Vertical Pipe", Jour. Petr. Tech. (June, 1967), 829.
 10. DUKLER, A.E., "Gas Liquid Flow in Pipelines", American Gas Association, American Petroleum Institute, Vol. I, "Research Results", May, 1969.
 11. DUNS, H. Jrs. and ROS, N.C.J., "Vertical Flow of Gas and Liquid Mixtures in Wells", 6th. World Petr. Congress, Frankfurt, Germany.
 12. AZIZ, N., GOVIER, G.W. and FOGARASI, M., "Pressure Drop in Wells Producing Oil and Gas", Jour. Cdn. Petr. Tech. (July Sept., 1972), 38-48.
 13. BEGGS, H.D. and BRILL, J.P., "A study of Two Phase Flow in Inclined Pipes", Jour. Petr. Tech. (May, 1973), 607.
 14. MUKHERJEE, H. and BRILL, J.P., "Liquid Holdup Correlations for Inclined Two Phase Flow", Jour. Petr. Tech. (May, 1983), 1003.
 15. GIGER, F.M., "The Reservoir Engineering Aspects of Horizontal Drilling", SPE 13024, 1984.
 16. GIGER, F.M., "Analytic 2D Models of Water Cresting Before Breakthrough for Horizontal Wells", SPE 15378, 1986.
 17. GIGER, F.M., "Horizontal Wells Production Techniques in Heterogeneous Reservoirs", SPE 13710, 1985.
 18. GIGER, F.M., "Low Permeability Reservoirs Development Using Horizontal Wells", SPE 16406, 1987.
 19. JOSHI, S.D., "Argumentation of Well Productivity Using Slant and Horizontal Wells", SPE 15375, 1986.

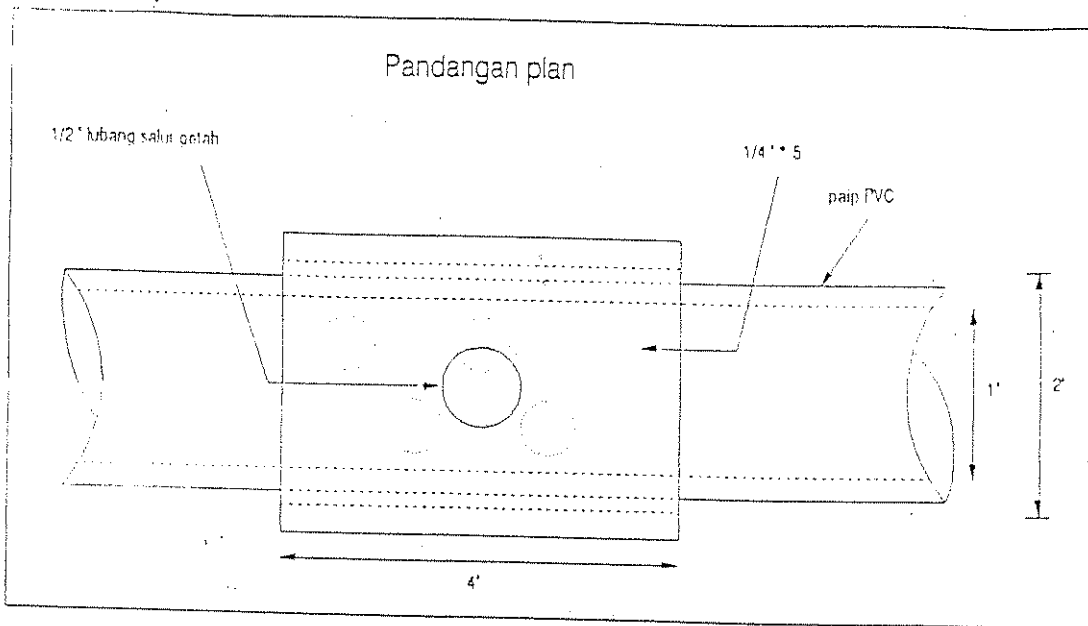
20. DIKKEN, B.J., "Pressure Drop in Horizontal Wells and Its Effect on Their Production Performance", SPE 19824, 1989.
21. ISLAM, M.R. and CHAKMA, A., "Comprehensive Physical and Numerical Modeling of a Horizontal Well", SPE 20627, 1991.
22. IHARA, I., 1991, Two Phase Flow in Horizontal Wells, Tesis M.Sc, The Universiti of Tulsa.
23. MOHD ARSHAD, A.: 1990. The Effects of Wellbore Pressure Profile on Horizontal Well Performance, Tesis M.Sc, Department of Mineral Resources Engineering, Royal School of Mine, Imperial College.

Diameter paip	=	0.08333 m
Kekasaran paip	=	0.00000 m
Ketumpatan air	=	994.4 kg/m ³
Ketumpatan udara	=	3.76 kg/m ³
Kelikatan air	=	0.001 kg/ms
Kelikatan udara	=	0.000018 kg/ms
Sudut kecondongan paip	=	0.0 darjah
Ketegangan antara permukaan	=	0.072 N/m
Kadar alir maksimum air	=	8.5 gpm
Kadar alir maksimum udara	=	20 lpm
Halaju superficial air maksimum	=	1.35882 m/s
Halaju superficial air minimum	=	0.2473 m/s
Halaju superficial udara maksimum	=	0.90 m/s
Halaju superficial udara minimum	=	0.0666 m/s

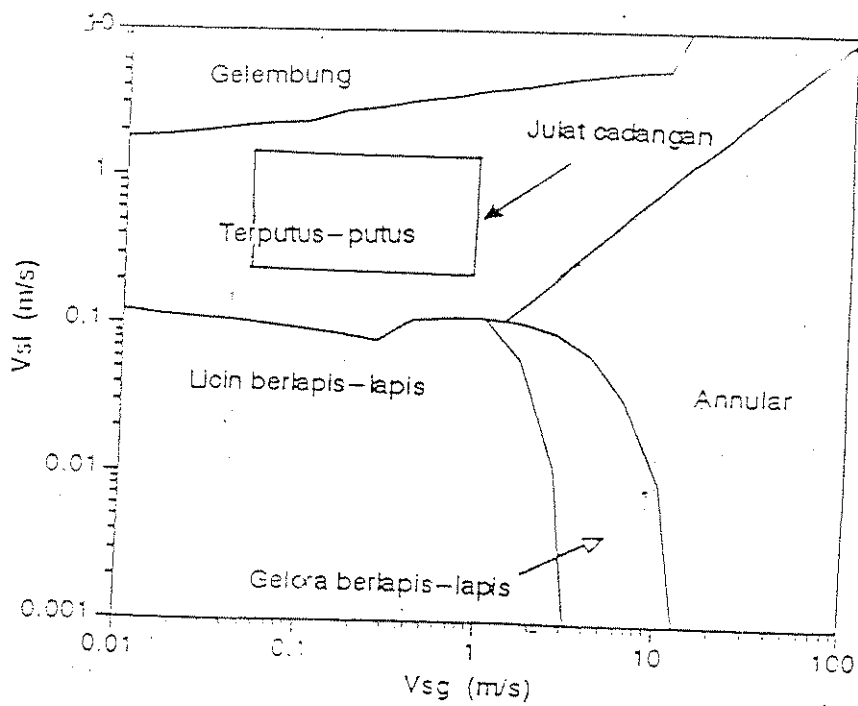
Jadual 1 : sifat-sifat bendalir dan keadaan semasa ujikaji dijalankan.



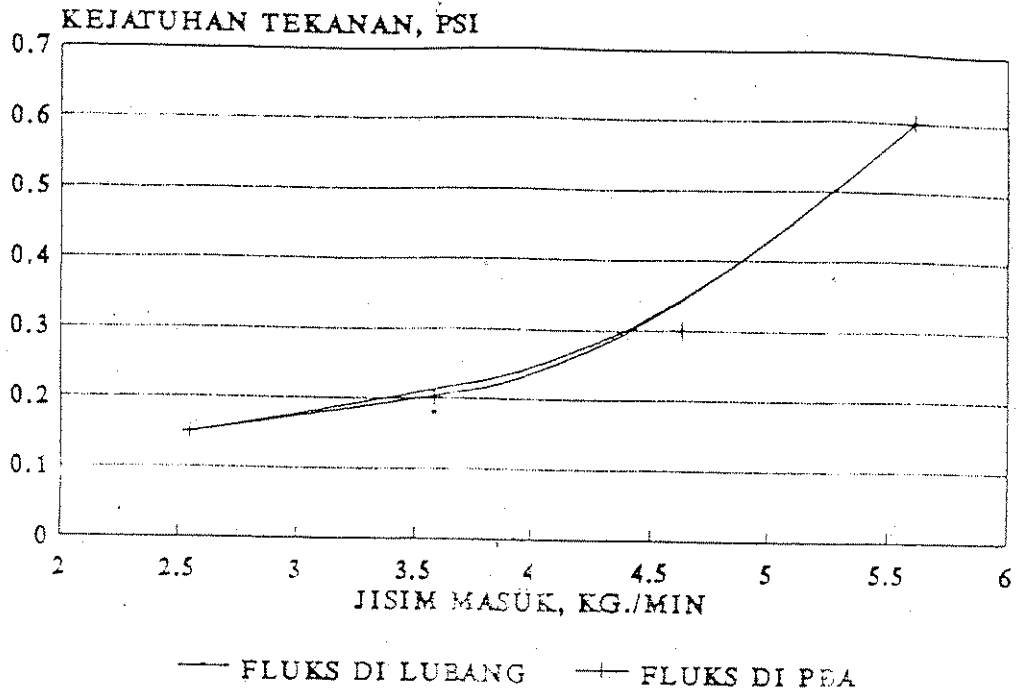
Rajah 1: Rekabentuk dan binaan peralatan ujikaji.



Rajah 2: Pelapik bertebuk yang digunakan dalam ujikaji.

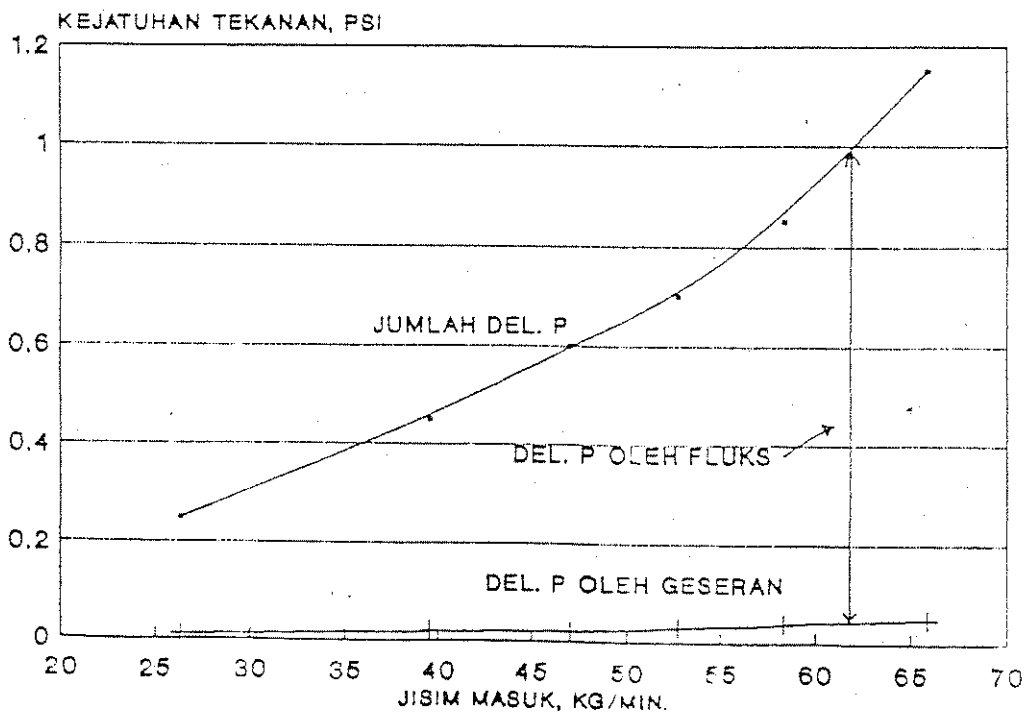


Rajah 3: Corak aliran semasa ujikaji dijalankan (terputus-putus).

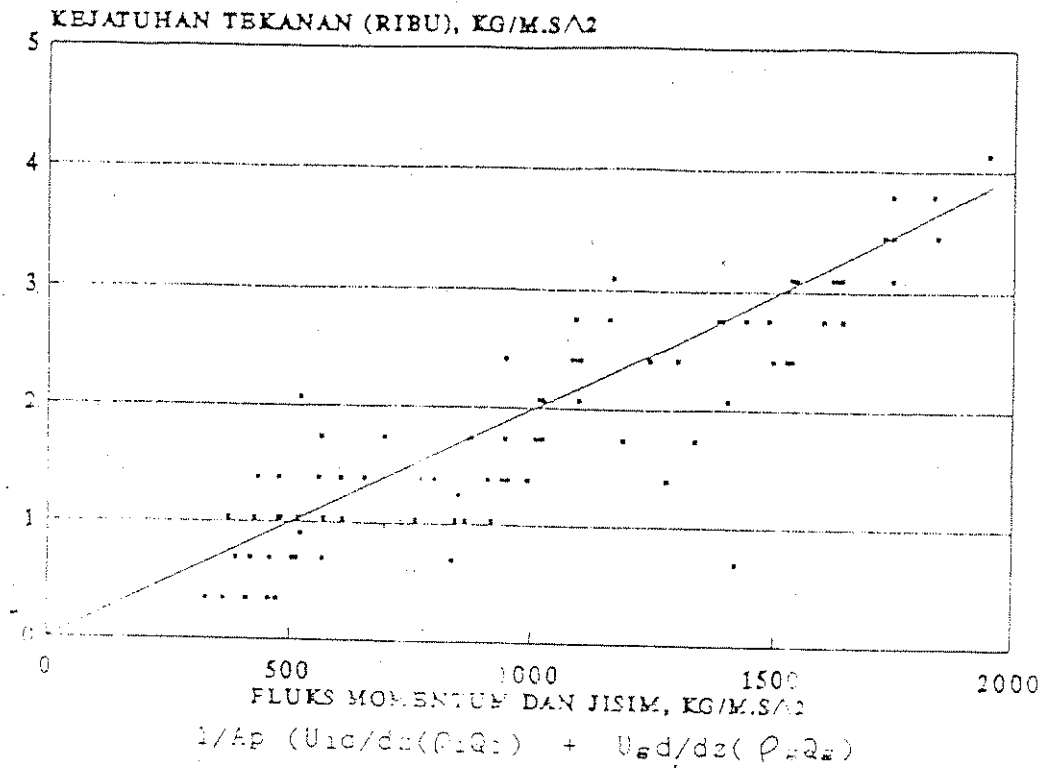


* PBA - PELAPIK BERLUEANG ALUR

Rajah 4: Perbandingan kejatuhan tekanan antara kedua-dua jenis penebuk iaitu pelapik bertebuk dan tebukian satu lubang.



Rajah 5: Keputusan ujikaji yang memperlihatkan kesan geseran paip dan fluks air terhadap kejatuhan tekanan.



Rajah 6: Gerah kejatuhan tekanan melawan $1/A_p [u_1 d/dz(\rho_1 Q_1) + u_g d/dz(\rho_1 Q_g)]$.