

PENGUKURAN PROFIL HALAJU MASA NYATA BAGI TOMOGRAFI OPTIK

RUZAIRI ABDUL RAHIM¹, MOHAMED AZNANSHAH KHALID², &
CHAN KOK SAN³

Abstrak. Objektif artikel ini adalah untuk membangunkan sebuah perisian menggunakan Visual Basic bagi tomografi optik, dimana perisian ini berupaya untuk mengesan dan mengukur pepejal kering yang melalui paip. Diameter luaran dan dalaman paip masing-masing adalah 60 mm dan 58 mm. Terdapat dua aras pengesanan digunakan untuk mengukur halaju (pengesan aras atas dan pengesan aras bawah). Sistem pengukuran mempunyai sebanyak 32 pemancar (T_{x_1} hingga $T_{x_{32}}$) dan 32 penerima (R_1 hingga R_{32}), yang dilekatkan pada ukurlilit paip tegak. Bagi pengesan aras bawah yang dilekatkan secara kekal mengandungi 16 pemancar ($T_{x_{17}}$ hingga $T_{x_{32}}$) dan 16 penerima (R_{17} hingga R_{32}) dan pengesan aras atas yang boleh dilaraskan mengandungi 16 pemancar (T_{x_1} hingga $T_{x_{16}}$) dan 16 penerima (R_1 hingga R_{16}). Halaju boleh dikira dengan mengambil jarak diantara pengesan aras atas dengan pengesan aras bawah dan dibahagi dengan masa lengah yang diperolehi daripada kedudukan puncak sekaitan silang yang dilakukan antara dua isyarat). Keputusan yang diperolehi dibandingkan dengan teori dan ia menunjukkan perisian dan perkakasan yang dibina berupaya membuat pengukuran halaju dengan tepat.

1.0 PENDAHULUAN

Tomografi adalah imej keratan rentas sesuatu kawasan manakala sistem tomografi boleh digambarkan sebagai sistem ukuran bagi membentuk imej yang dikehendaki menggunakan kumpulan penerima yang sama untuk menyelidik sifat fizikal sesuatu bahan dan alirannya dalam sebuah paip.

Proses tomografi melibatkan penggunaan peralatan yang akan menghasilkan gambaran persilangan bagi zarah – zarah dalam proses talian paip atau saluran. Vektor halaju dan kadar aliran jisim boleh dianalisis dengan memperoleh dua imej yang sesuai. Maka pengetahuan tentang taburan zarah dan pergerakan zarah boleh digunakan untuk mengoptimumkan rekaan proses.

Perisian yang dibangunkan adalah untuk mengukur halaju pepejal kering dalam masa nyata. Terdapat dua istilah umum yang digunapakai dalam pengertian masa nyata, iaitu:

- (1) *Pseudo Real-Time*: Data yang diperolehi disimpan sementara untuk dianalisis bagi pembentukan imej dan profil halaju. Kelengahan yang berlaku adalah

^{1,2&3}Process Tomography Research Group (PROTOM), Jabatan Kejuruteraan Kawalan & Instrumentasi, Fak. Kej. Elektrik, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai. ruzairi@suria.fke.utm.my

bergantung kepada kelajuan maksimum pemproses untuk memberikan pembaharuan berkala.

- (2) *True Real-Time*: Pembaharuan pengukuran dilakukan dalam masa nyata yang sebenar di mana tiada lengah berlaku.

Pelaksanaan perisian ini adalah berlandaskan kepada *pseudo real-time* kerana untuk mendapatkan masa lengah pergerakan pepejal kering daripada pengesan aras atas ke pengesan aras bawah memerlukan simpanan set data sementara untuk dianalisis.

Profil halaju diperolehi dengan melakukan sekaitan silang piksel pada aras atas dengan piksel berpadanan pada aras bawah [1]. Akhirnya profil halaju boleh diperolehi menggunakan persamaan:

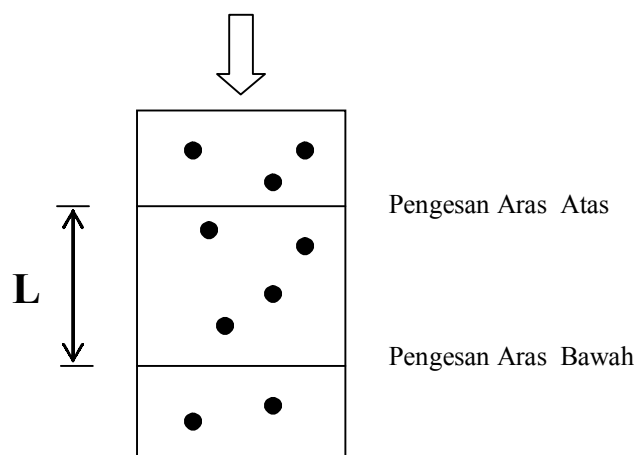
$$V = L / T_d \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

di mana V adalah halaju untuk setiap piksel

L adalah jarak antara pengesan aras atas dan pengesan aras bawah

T_d adalah masa lengah bagi pepejal kering yang bergerak dari pengesan aras atas ke pengesan aras bawah

Daripada Rajah 1 diperhatikan terdapat dua elemen yang perlu ditentukan sebelum profil halaju dapat diperolehi iaitu jarak di antara pengesan dan masa lengah yang diambil untuk pergerakan pepejal kering melalui pengesan aras atas ke pengesan aras bawah.



Rajah 1 Gambaran sistem pengesan

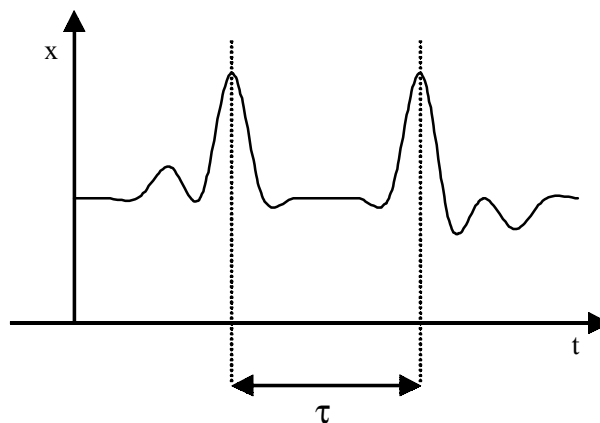
2.0 SEKAITAN SILANG

Masa lengah adalah masa yang diambil yang diambil oleh pepejal kering bergerak dari pengesan aras atas ke pengesan aras bawah. Bagi memperolehi masa lengah perlu dilakukan analisis sekaitan (*correlation analysis*). Terdapat dua jenis sekaitan iaitu:

- (1) Fungsi sekaitan auto (*auto correlation function*)
- (2) Fungsi sekaitan silang (*cross correlation function*)

2.1 Fungsi Sekaitan Auto

Proses sekaitan auto bertujuan untuk mendapatkan perhubungan di antara isyarat dengan versi anjakan masa isyarat itu sendiri atau dengan kata lain fungsi ini hanya melibatkan satu jenis isyarat sahaja seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.



Rajah 2 Fungsi sekaitan auto

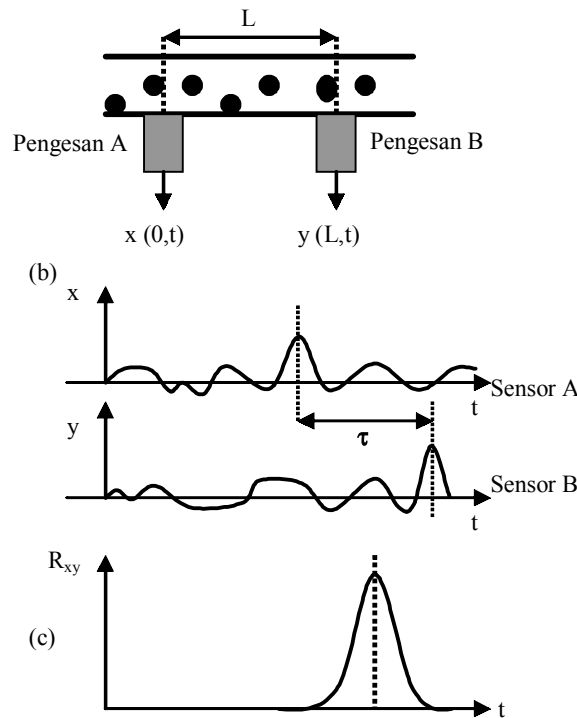
Alat yang digunakan untuk melakukan fungsi ini dinamakan pengait auto (*autocorrelator*). Fungsi ini boleh didapati dari persampelan data-data dari satu isyarat. Nilai fungsi sekaitan auto untuk masa lengah τ (tau) dipanggil sebagai pekali sekaitan auto isyarat untuk lengah t .

2.2 Fungsi Sekaitan Silang

Proses sekaitan silang adalah bertujuan untuk membandingkan satu isyarat dengan satu isyarat yang lain melalui pendaraban nilai data yang berkaitan dan mengambil puratanya atau dengan kata lain fungsi ini mencari persamaan yang wujud di antara dua isyarat yang berlainan nilainya. Nilai fungsi sekaitan silang untuk masa lengah τ (tau) dipanggil sebagai pekali sekaitan silang isyarat untuk lengah t . Rangkap sekaitan silang, CCF (*cross correlation function*) adalah graf yang memaparkan pekali sekaitan

yang berkaitan dengan dua isyarat yang berbeza diplot melawan jumlah anjakan masa di antara dua data. Nilai CCF yang maksimum menunjukkan persamaan di antara kedua-dua isyarat pada masa lengah tertentu.

Dari pada Rajah 3 terdapat dua isyarat yang berbeza dan apabila dikenakan sekaitan silang, maka akan diperolehi suatu graf yang mana puncak graf tersebut mewakili persamaan yang wujud di antara dua isyarat yang berlainan.



Rajah 3 Fungsi sekaitan silang

Keluaran pengesan A adalah $x(0, t)$ manakala $y(L, t)$ mewakili keluaran pengesan B. Sekiranya masa yang diambil oleh pepejal kering melalui pengesan A dan pengesan B adalah τ (tau), maka $x(0, t)$ dan $y(L, t)$ boleh dihubungkan dengan:

$$y(L, t) = x(0, t - \tau) \quad (2)$$

Maka fungsi sekaitan silang bagi $R_{xy}(L, t)$ adalah:

$$R_{xy}(L, \tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(0, t - \tau) y(L, t) dt \quad (3)$$

Nilai maksimum $R_{xy}(L, \tau)$ akan dihasilkan pada $\tau = \beta$, apabila masa lengah sekaitan adalah sama dengan masa peralihan β yang diambil oleh pepejal kering melalui pengesanan A ke pengesanan B.

3.0 KAEDAH MELAKUKAN SEKAITAN SILANG BAGI PROFIL HALAJU

Terdapat beberapa kaedah melakukan sekaitan silang bagi memperolehi profil halaju dan di antaranya ialah kaedah titik ke titik (*point by point*), evolusi (*evolution*), algoritma langkuan (*skip algorithm*) dan lain-lain.

3.1 Fungsi Sekaitan Silang Titik Ke Titik (*Point By Point Cross Correlation Function*)

Fungsi ini dikira dengan mengembangkan persamaan (4) kepada set penyelesaian yang ditunjukkan pada persamaan (5)

$$R_{xy}(j\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n y_{n+1} \quad I = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

$$\begin{aligned} R_{xy}(0) &= x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_N y_N \\ R_{xy}(1) &= x_1 y_2 + x_2 y_3 + \dots + x_N y_{N+1} \\ R_{xy}(2) &= x_1 y_3 + x_2 y_4 + \dots + x_N y_{N+2} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ R_{xy}(J) &= x_1 y_{J+1} + x_2 y_{J+2} + \dots + x_N y_{J+N} \end{aligned} \quad (5)$$

Fungsi sekaitan silang ini dikira pada satu titik pada satu masa dan pada kebiasaannya hanya kedudukan puncak pada graf CCF yang diperlukan maka persamaan (5) tidak perlu dibahagi dengan N [2].

Nilai pekali sekaitan silang boleh disifatkan sebagai persamaan antara dua isyarat. Fungsi sekaitan silang adalah amat berguna dalam mencari anjakan masa yang memberikan nilai maksimum kepada kesamaan antara dua isyarat yang berbeza.

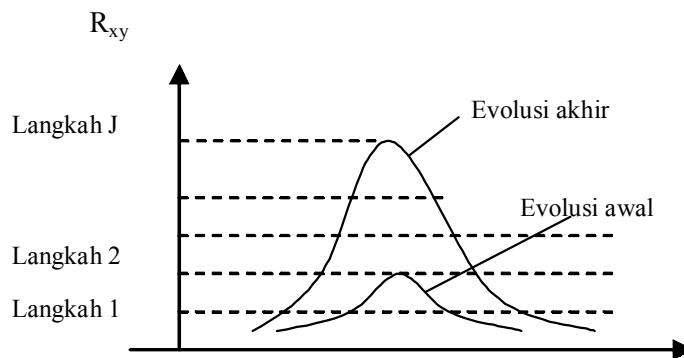
3.2 Evolusi (*Evolution*)

Kaedah ini melibatkan penyusunan semula data untuk pengiraan dalam persamaan (5) seperti berikut:

$$R_{xy}(j\Delta t) = x_1 \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_j \end{bmatrix} + x_2 \begin{bmatrix} y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ \vdots \\ y_{j+1} \end{bmatrix} + x_3 \begin{bmatrix} y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ \vdots \\ y_{j+2} \end{bmatrix} + \dots + x_N \begin{bmatrix} y_N \\ y_{N+1} \\ y_{N+2} \\ \vdots \\ y_{j+j} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{1^{\text{st}} \text{ evolution}}$
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{2^{\text{st}} \text{ evolution}}$

Dalam kaedah evolusi ini, evolusi pertama akan dikira dan kemudiannya ditambah dengan evolusi kedua sehingga penambahan yang terakhir mengikut persamaan di atas. Fungsi sekaitan silang akan berevolusi berbanding masa seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4 di bawah [2].

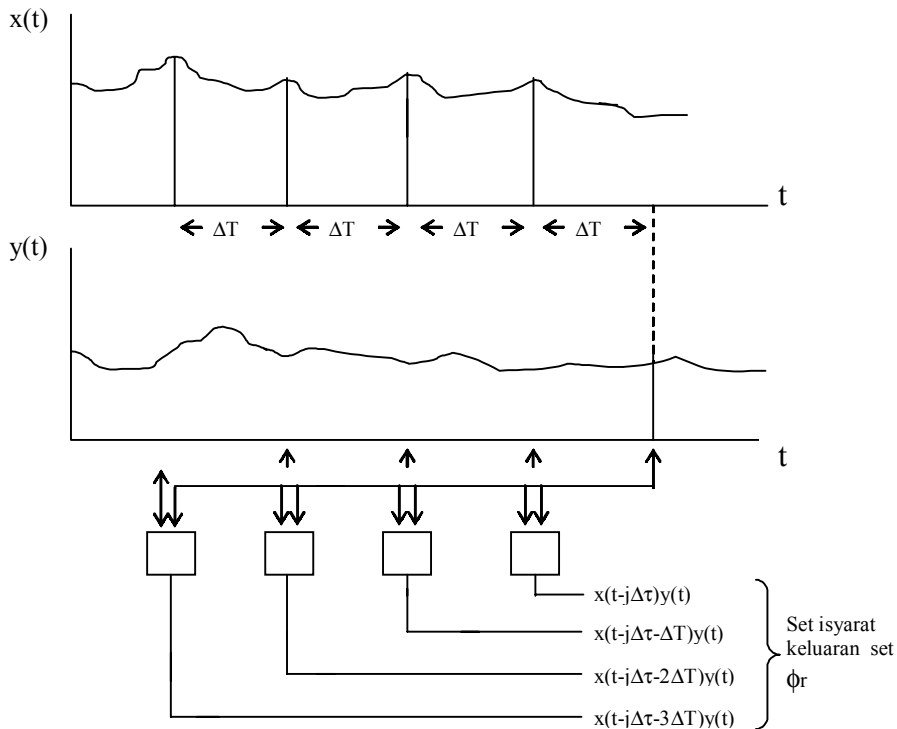


Rajah 4 Sekaitan Silang dengan kaedah evolusi

3.3 Algoritma Langkauan

Ia adalah pendekatan yang meminimumkan pengiraan dan pengambilan data yang perlu disimpan [2]. Persampelan langkauan bagi sekaitan silang dapat diperhatikan dalam Rajah 5. Salah satu isyarat $x(t)$ akan disampel pada kadar yang sesuai bagi mendapatkan ketepatan pada pengukuran kadar alir dan isyarat $y(t)$ akan disampel pada kadar yang lebih rendah untuk meminimumkan pengiraan yang terlibat.

Berdasarkan Rajah 5, isyarat keluaran set Φ_r (dihasilkan melalui pengaturcaraan) dimana satu sampel y_x dari data y dijumlahkan kesemua data y bagi memperolehi hasil sekaitan silang.



Rajah 5 Algoritma langkauan

$$R_{xy}(j\Delta\tau) = \sum_{r=1}^n \Phi_r \tag{7}$$

Penggunaan algoritma langkauan tidak akan meningkatkan perbezaan pekali sekaitan yang diukur kerana bagi mendapatkan pengukuran kadar alir, data x disampel pada kadar melebihi frekuensi *Nyquist* dan persampelan data y boleh dilaraskan pada kadar songsangan frekuensi *Nyquist* tanpa mengurangkan kandungan sekaitan silang yang diukur [2]. Secara praktiknya alogritma langkauan digunakan berlandaskan pemproses mikro bagi mengesan kebocoran paip dan pengukuran kadar alir jisim (Messen *et al.*, 1982). Dalam kertas kerja ini penggunaan kaedah sekaitan silang titik ke titik digunakan. Kaedah ini adalah amat sesuai dilakukan menggunakan perisian.

4.0 KEPUTUSAN & PERBINCANGAN

Pada bahagian ini analisis keputusan bagi beberapa ujikaji dan perbincangan akan dilakukan. Data-data bagi keputusan ini telah diambil dalam masa nyata melalui perisian yang dibangunkan dan dilakukan analisis yang sewajarnya. Antara ujikaji yang telah dijalankan adalah:

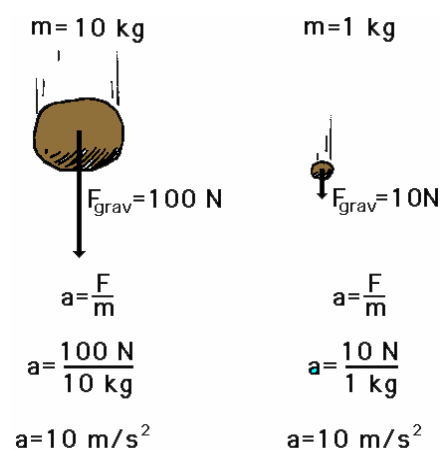
1. Pengukuran halaju pengesan ke pengesan
2. Pengukuran halaju piksel ke piksel
3. Kajian jarak jatuh

Pada ujikaji yang dijalankan, pengukuran halaju secara menegak dilakukan yang melibatkan objek jatuh bebas dari keadaan pegun ke bawah. Bagi melihat elemen-elemen yang dapat mempengaruhi pecutan objek yang mengalami jatuh bebas, pengenalan secara teori yang melibatkan hukum *Newton* kedua akan dibincangkan terlebih dahulu.

4.1 Teori Jatuh Bebas

Jatuh bebas adalah pergerakan di mana daya yang terhasil adalah bergantung kepada graviti. Objek yang dikatakan mengalami jatuh bebas dianggap tidak mengalami rintangan udara atau dalam perkataan lain, objek yang jatuh hanya dipengaruhi oleh graviti. Ini bermakna, semua objek akan jatuh pada kadar pecutan yang sama tanpa menghiraukan jisim objek. Sebagai contoh, ambil dua objek yang mempunyai jisim berbeza 10 kg dan 1 kg yang mengalami jatuh bebas seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6 (dengan mengambil pecutan graviti 10 m/s^2).

Berdasarkan hukum *Newton* kedua, objek yang mempunyai jisim 10 kg mengalami daya graviti yang lebih besar iaitu sebanyak 100 N berbanding objek yang mempunyai jisim 1 kg dengan daya graviti sebanyak 10 N. Jika hanya berdasarkan pada daya graviti yang terhasil, dianggarkan objek yang mempunyai jisim 10 kg akan menghasilkan pecutan yang lebih besar. Perlu diingatkan pecutan adalah bergantung kepada dua faktor iaitu jisim dan daya. Ini jelas menunjukkan objek 10 kg mempunyai jisim dan inersia yang lebih besar. Berdasarkan kepada Rajah 6, penambahan nilai



Rajah 6 Objek mengalami jatuh bebas

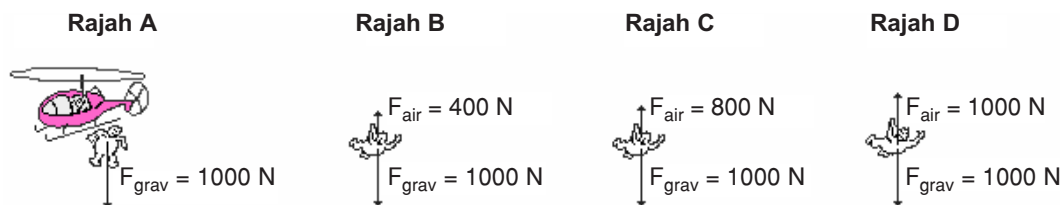
jisim akan mengakibatkan kesan penurunan nilai pecutan. Ini menunjukkan kesan langsung kepada jisim dan daya objek akan menghasilkan nilai pecutan pada kadar yang sama iaitu 10 m/s^2 . Nisbah daya dan jisim (F_{net}/m) adalah sama pada setiap objek yang mengalami jatuh bebas. Nisbah (F_{net}/m) adalah bersamaan nilai pecutan bagi objek. Rajah 7 menunjukkan kaitan dari perbincangan di atas.



Rajah 7 Objek mempunyai pecutan yang sama

4.2 Jatuh Dengan Kesan Rintangan Udara

Apabila objek jatuh dalam ruang udara, objek akan mengalami kesan rintangan udara. Pelanggaran permukaan objek dengan molekul udara akan mengakibatkan berlakunya rintangan udara. Jumlah rintangan udara ini bergantung kepada beberapa faktor. Dua faktor utama adalah halaju objek dan luas keratan rentas objek. Peningkatan nilai halaju akan meningkatkan rintangan udara manakala luas keratan rentas objek yang lebih besar juga akan meningkatkan jumlah rintangan udara. Dengan wujudnya rintangan udara maka halaju objek yang jatuh akan mengalami satu takat halaju maksimum yang juga dikenali sebagai halaju terminal (*terminal velocity*). Rajah 8 menunjukkan objek yang jatuh dengan pengaruh rintangan udara.



Rajah 8 Objek jatuh dengan pengaruh rintangan udara

Rajah A	Rajah B	Rajah C	Rajah D
$a = (F_{net}/m)$	$a = (F_{net}/m)$	$a = (F_{net}/m)$	$a = (F_{net}/m)$
$= (1000/100)$	$= (600/100)$	$= (200/100)$	$= (0/100)$
$= 10\text{m/s}^2$	$= 6\text{m/s}^2$	$= 2\text{m/s}^2$	$= 0\text{m/s}^2$

Rajah 9 Pecutan yang dihasilkan dengan pengaruh rintangan udara

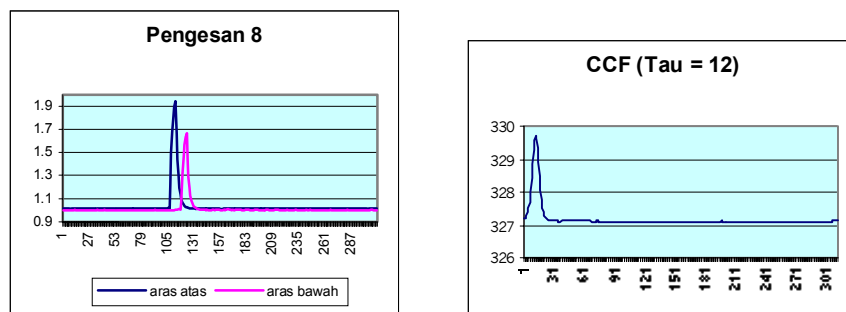
Berdasarkan Rajah 8 dan Rajah 9, menunjukkan pecutan yang dihasilkan mengecil dan menuju ke sifar. ' F_{net} ' adalah daya bersih yang dihasilkan melalui formula ' $F_{net} =$

$F_{grav} - F_{udara}$. Apabila objek jatuh, halaju akan bertambah. Dengan penambahan nilai halaju, rintangan udara turut meningkat. Peningkatan daya rintangan udara ini akan mengimbangi daya graviti sehingga menghasilkan daya bersih 0 N. Pada ketika daya bersih adalah sifar maka pecutan yang dihasilkan juga adalah sifar dan objek dikatakan mengalami halaju terminal. Halaju terminal adalah halaju maksimum yang boleh dicapai oleh objek di mana pada saat ini objek dikatakan mengalami halaju malar. Bagi objek yang mempunyai jisim yang lebih kecil akan lebih cepat mengalami halaju terminal berbanding objek yang mempunyai jisim yang lebih besar. Ini kerana daya rintangan udara akan mengimbangi daya graviti bagi objek yang berjisim kecil dengan masa yang lebih singkat. Dalam ujikaji yang akan dilakukan, nilai halaju secara teori adalah amat sukar diperolehi kerana daya rintangan udara berubah-ubah mengikut halaju semasa objek.

4.3 Pengukuran Halaju Pegasan Ke Pegasan

Tujuan ujikaji ini ialah untuk melihat pengukuran halaju yang dibuat antara pegasan aras atas ke pegasan aras bawah. Terdapat 32 pegasan aras atas dan 32 pegasan aras bawah dan setiap satunya mempunyai pasangan masing-masing dalam mengukur nilai halaju. Data-data telah diambil dalam masa nyata bagi keseluruhan pasangan pegasan, tetapi bagi tujuan analisis beberapa keluaran pegasan sahaja diambil supaya dapat dianalisis. Rajah 10 dan Jadual 1 menunjukkan contoh keputusan yang telah diambil oleh beberapa pasangan pegasan manakala Jadual 2 menunjukkan secara ringkas keputusan pasangan yang telah dipilih.

Jadual 1 Contoh Keluaran pada pegasan 8



Puncak CCF	Tau (τ)	Masa Langkah (ms)	Halaju (m/s)
329.7172	12	24	3.3333

Jadual 2 menunjukkan beberapa keputusan pengukuran halaju yang telah diambil oleh pasangan pegasan apabila terdapat elemen (bola golf) melalui pegasan. Didapati

bagi semua keputusan pengukuran halaju yang telah ditunjukkan memberikan nilai pengukuran 3.3333m/s. Kadar persampelan bagi ujikaji ini adalah 500 Hz /saluran. Dari pada ujikaji ini nilai pengukuran halaju adalah sama walaupun berlainan pasangan pengesanan. Ini menepati jangkaan di mana kesemua pengesanan akan memberikan nilai pengukuran yang sama apabila elemen diukur serentak oleh setiap pengesanan.

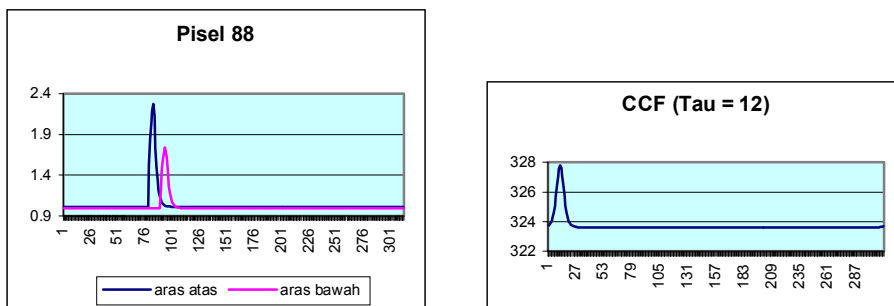
Jadual 2

Pengesanan	Puncak CCF	Tau (τ)	Masa Lengah (ms)	Halaju (m/s)
8	329.712	12	24	3.3333
12	324.3151	12	24	3.3333
20	326.5220	12	24	3.3333
24	333.2509	12	24	3.3333
30	323.2280	12	24	3.3333

4.4 Pengukuran Halaju Pikel Ke Pikel

Tujuan ujikaji ini ialah untuk melihat pengukuran halaju yang dibuat antara pikel aras atas ke pikel aras bawah. Dengan menggunakan keluaran setiap pengesanan, nilai bagi setiap pikel boleh diperolehi dengan menggunakan dua pantulan arah. Jumlah pikel bagi sistem ini adalah 256 kesemuanya. Rajah 11 dan Jadual 3 menunjukkan contoh keputusan pengukuran halaju pikel ke pikel bagi data yang sama diperolehi dalam pengukuran halaju pengesanan ke pengesanan.

Jadual 3 Contoh Keluaran pada pengesanan 88



Puncak CCF	Tau (τ)	Masa Lengah (ms)	Halaju (m/s)
329.7969	12	24	3.3333

Jadual 4

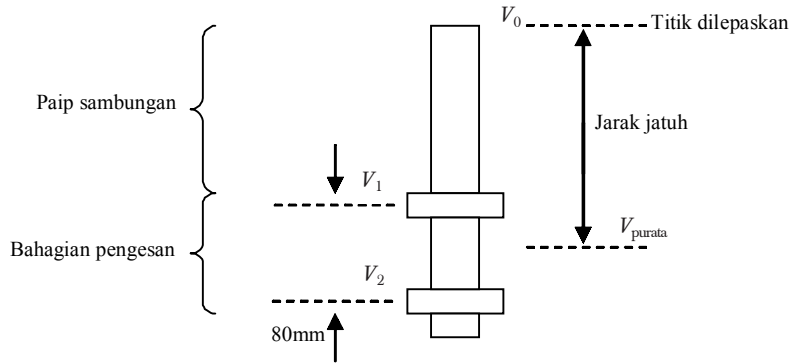
Pengesan	Puncak CCF	Tau (τ)	Masa Lengah (ms)	Halaju (m/s)
88	327.7969	12	24	3.3333
100	339.7481	12	24	3.3333
142	312.6726	12	24	3.3333
197	312.6726	12	24	3.3333

Jadual 4 menunjukkan keputusan pengukuran halaju bagi beberapa pisel yang terpilih. Didapati nilai pengukuran halaju yang diperolehi bagi semua pisel yang ditunjukkan memberi nilai pengukuran yang sama iaitu 3.33 m/s. Nilai pengukuran bagi pisel ke pisel menunjukkan bacaan yang sama dengan pengukuran halaju yang dibuat melalui pengesan ke pengesan. Bola golf menjadi elemen yang melalui kawasan kajian dan disampel sebanyak 312 data pada kadar persempelan 500 Hz/saluran. Profil penumpuan adalah hasil tambah bagi keseluruhan nilai pisel. Keputusan yang diperolehi memberikan bacaan nilai profil penumpuan bagi aras atas adalah 260.5901 manakala profil penumpuan bagi aras bawah memberikan bacaan 263.0614. Terdapat perbezaan sebanyak 2.4713 dan ini berlaku disebabkan oleh faktor penumpuan aliran yang tidak sekata.

4.5 Kajian Jarak Jatuh

Tujuan ujikaji yang dijalankan adalah untuk melihat perbezaan nilai halaju apabila objek yang berlainan jisim dilepaskan pada beberapa jarak yang telah ditetapkan iaitu 250 mm, 500 mm, 750 mm dan 1000 mm. Keputusan yang diperolehi sepatutnya menunjukkan nilai halaju yang berbeza bergantung pada jisim dan jarak objek yang dilepaskan. Objek yang dimaksudkan adalah bola golf dan pingpong. Jisim bagi bola golf adalah melebihi jisim bola pingpong. Rajah 10 menunjukkan susun atur bendakerja dan dimensi yang diambil kira.

Merujuk kepada Rajah 10, terdapat tiga aras halaju yang boleh dikira secara teori berasaskan dimensi yang diketahui. Keputusan pengukuran halaju yang diukur akan dibandingkan dengan nilai teori pada bahagian akhir nanti (Jadual 6). Berdasarkan Rajah 10, nilai V_0 adalah sifar, V_1 adalah halaju pada pengesan aras atas dan V_2 adalah halaju pada aras bawah. Di sini nilai V_{purata} merupakan halaju purata diantara pengesan aras atas dan pengesan aras bawah di mana perbandingan akan dilakukan antara keputusan pengukuran dengan nilai kiraan. Terdapat empat jarak yang akan dikaji dan setiap jarak akan disampel sebanyak 20 data dan dianalisis secara berasingan.



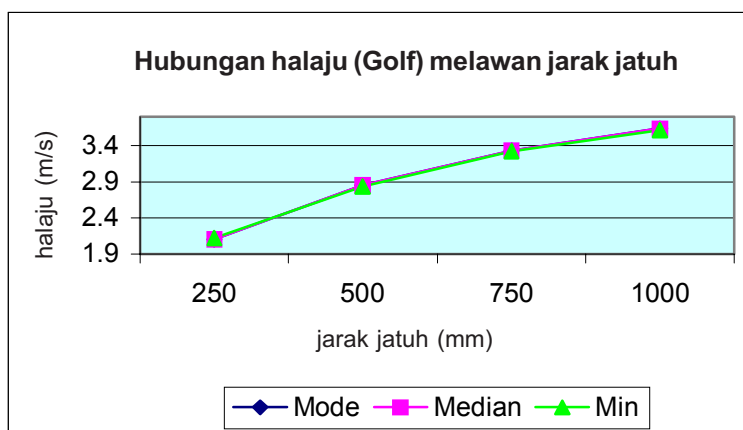
Rajah 10 Susun atur bendakerja

Jadual 5 menunjukkan keputusan diperolehi bagi bola golf dari segi statistik.

Jadual 5 Parameter statistik bagi bola golf

Jarak jatuh (mm)	Mode (m/s)	Median (m/s)	Min (m/s)	Sisihan Piawai
250	2.1053	2.1053	2.1193	0.0804
500	2.8571	2.8571	2.8381	0.0584
750	3.3333	3.3333	3.3206	0.0568
1000	3.6364	3.6364	3.6162	0.0677

Daripada Rajah 11, keputusan halaju melawan jarak jatuh bagi bola golf menunjukkan dengan penambahan jarak jatuh akan meningkatkan nilai halaju yang



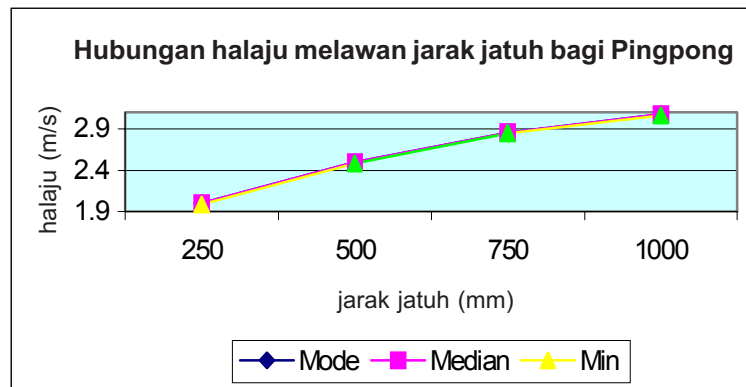
Rajah 11 Graf halaju (golf) melawan jarak jatuh

diukur atau dengan ertikata lain hubungan halaju dengan jarak jatuh adalah berkadar terus. Keputusan ini menepati jangkakan keputusan.

Jadual 6 menunjukkan keputusan diperolehi bagi bola pingpong dari segi statistik.

Jadual 6 Parameter statistik bagi bola pingpong

Jarak jatuh (mm)	Mode (m/s)	Median (m/s)	Min (m/s)	Sisihan Piawai
250	2	2	1.9884	0.08
500	2.5	2.5	2.4853	0.0447
750	2.8571	2.8571	2.8381	0.0584
1000	3.0769	3.0769	3.0659	0.049



Rajah 12 Graf halaju (pingpong) melawan jarak jatuh

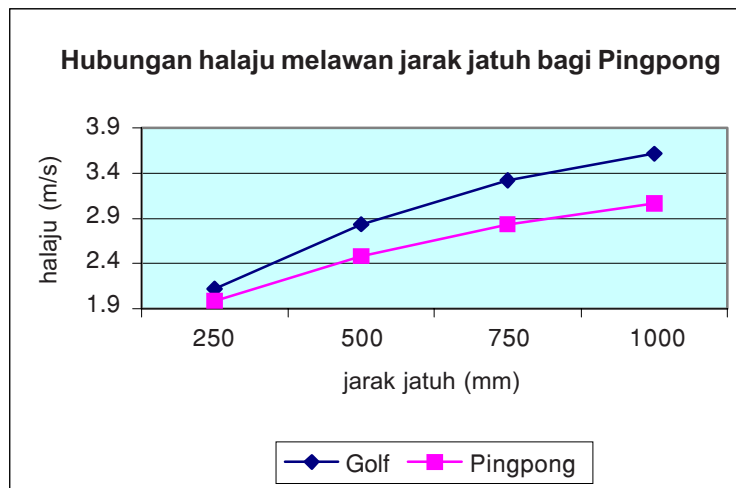
Dari pada Rajah 12, keputusan halaju melawan jarak jatuh bagi bola pingpong juga menunjukkan penambahan jarak jatuh akan meningkatkan nilai halaju yang diukur atau dengan ertikata lain hubungan halaju dengan jarak jatuh adalah berkadar terus.

Jadual 6 menunjukkan nilai halaju purata yang dikira secara teori dengan halaju purata yang diperolehi secara pengukuran. Rajah 13 menunjukkan nilai pengukuran halaju purata bagi bola pingpong dan bola golf.

Rajah 13, menunjukkan bola golf mempunyai halaju purata yang lebih besar berbanding bola pingpong. Keputusan yang diperolehi bertepatan dengan keputusan yang diramalkan. Keputusan seumpama ini diperolehi kerana bola golf mempunyai jisim yang lebih besar berbanding bola pingpong. Perbezaan halaju purata meningkat dengan penambahan jarak menunjukkan bola pingpong akan mengalami halaju terminal terlebih dahulu berbanding bola golf.

Jadual 7 Parameter statistik bagi menunjukkan perbandingan nilai pengukuran

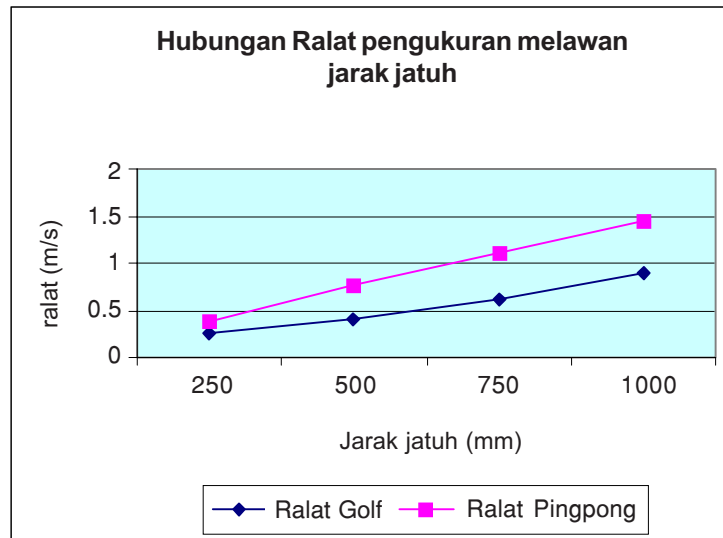
Jarak jatuh (mm)	Pengiraan secara teori				Pengukuran		Ralat	
	V_0 (m/s)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	V_{purata} (m/s)	Golf	Pingpong	Golf	Pingpong
					V_{purata} (m/s)	V_{purata} (m/s)	(m/s)	(m/s)
250	0	2.2147	2.5445	2.3796	2.1193	1.9884	0.2603	0.3912
500	0	3.1321	3.3733	3.2527	2.8381	2.4853	0.4146	0.7674
750	0	3.836	4.0354	3.9357	3.3206	2.8381	0.6151	1.0976
1000	0	4.4294	4.6032	4.5163	3.6162	3.0659	0.9001	1.4504



Rajah 13 Graf halaju melawan jarak jatuh

Merujuk Jadual 7, perbezaan di antara nilai halaju purata yang dikira secara teori dengan nilai halaju purata yang diukur dilabelkan sebagai ralat. Rajah 14 menunjukkan nilai ralat yang diplot melawan jarak jatuh.

Rajah 14 menunjukkan ralat yang diperolehi bagi bola golf dan bola pingpong. Didapati nilai ralat bagi bola pingpong adalah lebih besar berbanding nilai ralat bagi bola golf. Ini juga menunjukkan kesan jisim sesuatu objek yang dilepaskan secara jatuh bebas. Nilai ralat bertambah secara berkadar terus dengan pertambahan jarak jatuh. Secara teorinya sesuatu objek akan mencapai halaju terminal di mana pecutan akan menjadi sifar dan halaju akan menjadi malar jika jarak jatuh yang lebih besar diperuntukkan. Sekiranya keadaan ini berlaku, nilai ralat akan bertambah dan menuju ke infiniti.



Rajah 14 Graf ralat melawan jarak jatuh

5.0 KESIMPULAN

Keputusan yang diperolehi daripada empat ujikaji yang dijalankan menunjukkan perisian dan perkakasan yang dibina berupaya memberi pengukuran profil halaju masa nyata bagi tomografi optik.

RUJUKAN

- [1] Williams, R. A. and M. S. Beck. 1995. *Process Tomography*. Butterworth Heinemann.
- [2] Beck, M. S. and A. Plaskowski. 1987. *Cross Correlation Flowmeters*. Bristol England: Adam Higler.
- [3] Massen, R. 1982. *Non Contact velocity measurement with a new microprocessor based industrial correlator*. Acta Imeko.
- [4] Cheah Kah Wei. 1999. *Image reconstruction Algorithm for electrical charge Tomography using Visual Basic Software*. Universiti Teknologi Malaysia. BSc. Thesis.
- [5] Ruzairi Abdul Rahim. 1996. *A Tomographic Imaging System For Pneumatic Conveyors Using Optical Fibres*. Sheffield Hallam University Ph.D Thesis.