

## PELICINAN ANALISIS DATA FUNGSIAN TERHADAP DATA BIOMEKANIK KETEPATAN TEMBAKAN

(Functional Data Analysis Smoothing on Biomechanics Shooting Accuracy Data)

WAN ROZITA WAN DIN, AZMIN SHAM RAMBELY & ABDUL AZIZ JEMAIN

### ABSTRAK

Proses pelicinan adalah mandatori terhadap data yang dijana menggunakan peralatan mekanikal bagi membuang hingar. Kajian ini membentangkan ujian pelicinan ke atas data biomekanikal dengan menggunakan analisis data fungsian (ADF) yang merupakan suatu kaedah baharu dalam bidang statistik yang menganalisis data dalam bentuk fungsian. ADF juga memberi beberapa pembaharuan tambahan dari segi pelicinan data, pelarasan lengkung dan teknik analisis terbitan di samping kaedah analisis berstatistik biasa. Data ketepatan tembakan menggunakan rifel M16 diperoleh daripada sepuluh subjek tentera berumur  $31 \pm 6.2$  tahun dengan berat badan  $71.6 \pm 10.4$  kg dan ketinggian  $166.3 \pm 5.9$  cm melalui peralatan analisis gerakan Vicon yang terdiri daripada tujuh kamera dan 39 penanda inframerah yang dilekatkan pada sendi utama badan. Beberapa ujian pelicinan melalui kaedah ADF dibentangkan bagi menetapkan parameter terbaik yang seterusnya dipilih terhadap data biomekanik ketepatan tembakan. Parameter terbaik bagi data biomekanik ketepatan menembak adalah dengan menggunakan modul pelicinan kembangan splin-B kuintik dengan menetapkan penalti kekasaran pada terbitan keempat dan jumlah pelicinan bersamaan dengan  $1e-12$ . ADF terbukti sebagai satu daripada kaedah yang dapat melicinkan data biomekanik dengan sangat baik dan membolehkan data digunakan untuk analisis seterusnya.

*Kata kunci:* pelicinan; hingar; analisis data fungsian; rifel; biomekanik ketepatan tembakan

### ABSTRACT

Smoothing process is mandatory for data generated through mechanical equipments in order to remove noise. This paper presents the smoothing tests done towards biomechanical data through functional data analysis (FDA) method. FDA is a new branch of statistics which analyses data in the forms of functions and also provides special features like smoothing, aligning curves and derivatives analysis techniques together with normal statistical analysis methods. Shooting accuracy data using rifle M16 were collected from ten military subjects, age  $31 \pm 6.2$  years, weigh  $71.6 \pm 10.4$  kg and with height  $166.3 \pm 5.9$  cm, using the Vicon motion analysis system and 39 infrared body markers attached to body joints. Smoothing tests are presented to choose the most suitable smoothing parameters for biomechanics shooting accuracy data. Smoothing by using B-spline quintic basis and directly specified roughness penalty by penalising fourth derivatives together with smoothing amount  $\lambda$  of  $1e-12$  are the best parameters selected. FDA proved to be one of the best methods in smoothing biomechanical data which enables data for further analysis processing.

*Keywords:* smoothing; noise; functional data analysis; rifle; biomechanical shooting accuracy

## 1. Pengenalan

Adalah menjadi satu keperluan dan sangat penting bagi setiap data kajian menjalani proses pelicinan ataupun proses membuang hingar bagi menghasilkan isyarat yang tepat dan dapat menerangkan tentang sesuatu kajian yang dijalankan. Hingar perlu disingkirkan atau dilicinkan bagi mendapat gambaran yang jelas tentang data kajian. Hanya data yang telah dilicinkan dapat menjalani proses analisis seterusnya sehingga terhasilnya keputusan kajian. Contohnya, bagi

kajian ini, data tanpa pelicinan menyebabkan proses seterusnya, iaitu proses pendaftaran bagi menyelaraskan lengkung pada titik maksimum dan minimum tidak dapat dijalankan kerana nilai hingar yang terlalu tinggi menyebabkan nilai sebenar tidak tepat.

Data kajian biomekanik biasanya diambil dengan menggunakan peralatan mekanikal seperti kamera, video berkelajuan tinggi, pelantar daya, meter pecut dan sebagainya (Winter 2005). Menurut Robertson dan Dowling (2003), data asal sama ada dalam bentuk gelombang bunyi, voltan, arus elektrik, medan magnet, data kedudukan atau kuantiti fizikal lain yang direkodkan dalam bentuk isyarat analog ataupun digital adalah terdiri dari gabungan isyarat sebenar dan isyarat hingar lain. Isyarat hingar mungkin berpunca daripada peralatan pengukuran, objek tentukur, penanda rujukan yang dilekatkan pada subjek semasa uji kaji, kalibrasi kamera dan koordinat penanda subjek. Bagi mendapatkan isyarat sebenar, pelicinan atau penapisan perlu dijalankan bagi mengurangkan atau mengasingkan isyarat hingar tersebut. Data sebenar dapat dikenali berdasarkan empat ciri utama yang terdapat pada isyarat sinusoidal yang berubah mengikut masa, iaitu frekuensi, amplitud, ofset dan fasa sudut. Frekuensi dalam Hz ialah ukuran satu pusingan sesaat, amplitud pula ialah magnitud ayunan, ofset ialah nilai purata isyarat, dan fasa sudut ialah masa tertangguh. Contohnya,

$$h(t) = a_0 + a \sin(2\pi ft + \theta) \quad (1)$$

dengan  $f$  ialah frekuensi,  $a$  ialah amplitud,  $a_0$  ialah ofset dan  $\theta$  ialah fasa sudut.

Berbeza dengan isyarat sebenar, isyarat hingar mempunyai ciri-ciri yang sebaliknya seperti amplitud yang lebih rendah atau tersangat tinggi, dan juga kadar frekuensi yang berlainan dan tidak berketentuan. Isyarat hingar adalah semua bentuk gelombang yang tidak dikehendaki yang terdiri daripada hingar rawak dan hingar putih yang mempunyai kandungan frekuensi yang tinggi. Isyarat biasanya mempunyai frekuensi yang rendah. Isyarat gaya jalan berada 99.7% di bawah frekuensi 6 Hz dalam data kedudukan (Winter 1990). Menurut Allard *et al.* (1995), proses pelicinan sangat diperlukan disebabkan isyarat hingar akan menjadi sangat besar setelah proses terbitan dijalankan. Lebih tinggi tahap frekuensi dalam isyarat kedudukan, isyarat hingar akan menjadi lebih tinggi dan lebih dominan dalam halaju, pecutan dan terbitan yang lebih tinggi. Contohnya, katakan isyarat masa  $x(t)$  adalah gabungan sinusoidal harmonik,

$$x(t) = \sum_{i=0}^n a_i \sin(\omega_i t + \phi_i) \quad (2)$$

dengan  $a_i$  ialah amplitud,  $\omega = \pi f$  dan selepas pembezaan, didapati terbitan pertama ialah

$\omega_i a_i$  dan terbitan kedua pula ialah  $\omega_i^2 a_i$ . Dapat dilihat cara isyarat hingar berganda dalam setiap proses terbitan.

Beberapa kaedah pelicinan lama dan baharu yang sering diguna pakai dalam memproses data biomekanik adalah penapisan Butterworth, penjelmaan siri Fourier, pengesahsahihan silang splin teritlak, kuasa-dua kubik splin terkecil, model regresi, Bayesian, Kalman, analisis ralat, penaksiran spektrum kuasa, gerak balas impuls terhingga dan pendekatan pelicinan dengan pembezaan padat dan unjuran. Banyak kajian berkaitan penapisan dan pelicinan telah dibuat khususnya dalam formulasi kaedah baru (Manal & Rose 2007; Erer 2007; Robertson & Dowling 2003), perbandingan kaedah (Robertson & Dowling 2003; Sabatini 2003; Giakas & Baltzopolous 1997), dan untuk mendapatkan hasil yang optimum (Nagano 2003).

Giakas dan Baltzopolous (1997) telah membuat perbandingan antara teknik-teknik penapisan yang digunakan ke atas data biomekanik bagi mendapatkan teknik penapisan automatik terbaik bagi tujuan analisis gaya jalan. Enam kaedah yang dibandingkan adalah penaksiran kuasa

spektrum (D'Amico & Ferrigno 1990), pengesahsahihan silang splin teritlak (Dohrmann *et al.* 1988), kuasa dua kubik splin terkecil (Simons & Yang 1991), siri Fourier (Anderssen & Bloomfield 1974; Cullum 1971; Wood 1982), model regressi (Yu 1989) dan analisis ralat (Winter 1990). Kesimpulan dari kajian mendapati tiada satu kaedah dapat memberikan hasil terbaik yang konsisten terhadap data kajian.

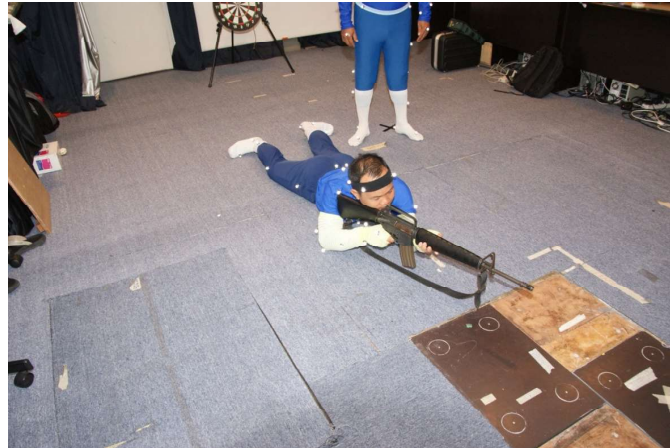
Manal dan Rose (2007) telah menjalankan kajian berkenaan lengahan masa yang terhasil dari penapisan digital Butterworth yang digunakan kepada pemodelan sistem rangka otot. Beliau telah menghasilkan formulasi analitik dalam bentuk fungsi titik-potong frekuensi dan peringkat penapisan. Erer (2007) pula membuat pengubahsuaian pada versi penapisan Butterworth bagi membolehkannya mengendalikan isyarat tak pegun.

Perbandingan antara penapisan Butterworth dan “*digital critically damped filter*” atau penapisan digital terendam kritikal (DTK) yang dibuat oleh Robertson dan Dowling (2003) mendapati DTK adalah lebih baik berbanding dengan penapis Butterworth bagi isyarat yang cepat peralihannya dan tidak memerlukan pembezaan masa seperti daya, meter pecut dan isyarat elektromagnet. Namun begitu, bagi isyarat yang perlu dibezakan seperti data kedudukan, penapisan DTK tidak dapat mengasingkan isyarat hingar pada titik-potong frekuensi bahagian atas yang ditetapkan. Elmer dan Martin (2009) telah menghasilkan asas pengiraan dengan hanya menggunakan perisian *Excel* bagi mengira penapisan melalui kaedah penganggaran siri Fourier dan penapisan laluan jalur rendah. Sabatini (2003) menjalankan aplikasi pelicinan Kalman ke atas data biomekanik dan juga membuat simulasi bagi membandingkan prestasi pelicinan Kalman dua-fasa setelah pengubahsuaian dalam menganggar kedudukan dan halaju dari data kedudukan yang mengandungi isyarat hingar.

Selain biomekanik banyak bidang lain seperti telekomunikasi, sains nuklear, radar, elektronik, automotif, tomografi, sistem audio, litar, seismologi, elektronik nano, bioperubatan, ilmu alam lautan dan komunikasi optik menggunakan proses pelicinan bagi mendapatkan data yang bersih dari isyarat hingar.

## **2. Metodologi**

Sepuluh subjek yang terdiri dari anggota tentera yang berkhidmat sebagai pelatih PALAPES, UKM dengan berat badan  $71.6 \pm 10.4$  kg, berketinggian  $166.3 \pm 6$  cm dan berumur  $31 \pm 6$  tahun, sihat tubuh badan bersetuju untuk mengambil bahagian dalam sesi uji kaji ketepatan menembak. Mereka dikehendaki menggalas beg ketenteraan sambil memegang senjata rifel M16 kemudian berlari mengambil kedudukan menembak selepas melepaskan beg galas seperti di dalam keadaan gerak gempur sebenar. Setiap subjek melakukan empat kedudukan tembakan, iaitu menembak sambil meniarap, duduk, melutut dan berdiri dengan mengulangi enam percubaan bagi setiap kedudukan tersebut. Mereka dibenarkan untuk berehat selama satu hingga dua minit sebelum melakukan kedudukan menembak yang lain bagi mengelakkan keletihan. Data ketepatan tembakan dicerap menggunakan sistem analisis gerakan VICON yang terdiri daripada tujuh buah kamera dan tiga puluh sembilan penanda inframerah yang dilekatkan pada sendi badan. Data yang dikaji adalah data biomekanik semasa membidik rifel untuk melakukan tembakan pada kedudukan menembak sambil berdiri sahaja memandangkan data kedudukan menembak yang lain tidak dapat dicerap dengan sempurna semasa proses uji kaji.



Rajah 1: Subjek sedang membidik dalam kedudukan menembak sambil meniarap

### 3. Data Analysis

Data cerapan disampel semula pada 50 Hz. Data yang diperolehi terdiri daripada parameter koordinat paksi  $x$ ,  $y$  dan  $z$  bagi setiap sendi yang diilekatkan penanda inframerah padanya, sudut setiap segmen badan, daya, momen dan kuasa. Kajian ketepatan menembak hanya menganalisis parameter sudut bahu, siku dan pergelangan tangan kanan dan kiri. Analisis data fungsian (ADF) digunakan bagi tujuan pelicinan data kajian yang membolehkannya digunakan untuk analisis seterusnya.

ADF adalah satu cabang baharu dalam bidang statistik yang menganalisis data dalam bentuk fungsian. Selain daripada penerokaan dalam bentuk fungsian, data juga boleh diterokai secara pelicinan, pendaftaran, terbitan, pemodelan dan dinamik, analisis pembezaan utama, nilai eigen. Kaedah statistik seperti analisis komponen utama, analisis korelasi kanonik dan ujian susun atur juga boleh dilakukan terhadap data (Ramsay & Silverman 2005).

Data kajian dijelmakan kepada objek data fungsian dengan menggunakan kembangan splin bagi data tidak berkala dan siri Fourier bagi data berkala. Bersandarkan kajian beban ketenteraan yang telah dibuat oleh Din *et al.* (2011), peralatan uji kaji yang sama telah digunakan. Oleh itu, kembangan splin-B dipilih bagi mewakili lengkung yang tidak berkala bagi data ketepatan menembak,

$$x(t) = \sum_{k=1}^K c_k \phi_k(t) \quad (3)$$

dengan  $c_k$  adalah pekali dan  $\phi_k(t)$  set asas fungsi splin-B (Ramsay & Silverman 2005).

Proses seterusnya adalah pelicinan data fungsian dengan menggunakan penalti kekasaran yang ditetapkan secara terus pada terbitan yang dikehendaki. Splin-B peringkat keempat selalunya digunakan sebagai asas kembangan data dalam kajian lepas. Pelicinan dengan menetapkan penalti kekasaran adalah paling berkesan dalam melicinkan data kerana ia mempunyai anggaran terbitan yang stabil. Fungsi kekasaran dikira melalui pengamiran pembezaan kuasa dua terbitan yang ditetapkan. Bentuk teritlak penalti kekasaran (PEN) bagi pembezaan  $D^m x$  adalah,

$$PEN_m(x) = \int [D^m x(t)]^2 dt \tag{4}$$

dengan  $m$  adalah peringkat pembezaan yang dipilih. Apabila data disesuaikan dengan menggunakan kaedah ini dan bukan kaedah gandaan terkecil, pelicinan ditaksirkan dalam bentuk  $\lambda$  dan bukan darjah kebebasan. Bentuk teritlak penyuaian penalti kekasaran dengan meminimumkan ralat kuasa dua terkecil penalti (RKDTP) adalah,

$$RKDTP = \sum_j [y_j - x(t_j)]^2 + \lambda \int [D^m x(t)]^2 dt \tag{5}$$

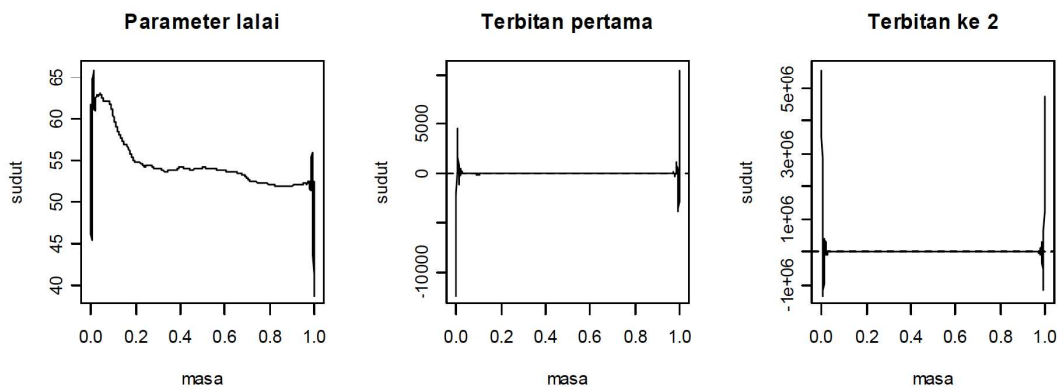
Dengan  $y_j$  adalah data asal,  $x(t) = c'\phi(t)$  adalah fungsi splin-B yang telah dipilih, parameter  $\lambda$  menentukan jumlah pelicinan yang digunakan dalam menganggar fungsi parameter. Apabila nilai  $\lambda$  menjadi terpermanai,  $\lambda \rightarrow \infty$ , lengkung penyuaian akan mendekati regresi linear terpiawai bagi data tersebut berbanding dengan apabila  $\lambda \rightarrow 0$  akan menghasilkan data lebih variasi disebabkan kurangnya penalti dikenakan pada data asal (Ramsay *et al.* 2009).

Atur cara pengkomputeran dengan menggunakan perisian R digunakan bagi analisis kajian.

#### 4. Keputusan dan Perbincangan

Data sudut bahu kanan yang dipilih dari seorang subjek uji kaji digunakan untuk ujian pemilihan parameter pelicinan. Tiga rajah yang terdiri daripada data selepas dikenakan pelicinan, selepas terbitan pertama dan terbitan kedua dihasilkan bagi setiap ujian. Terbitan pertama dan kedua digunakan untuk menetapkan pemilihan parameter pelicinan yang sesuai kerana proses pembezaan akan menyebabkan amplitud isyarat hingar berganda dengan banyaknya pada terbitan pertama dan seterusnya. Terbitan yang licin memudahkan pemilihan parameter dilakukan.

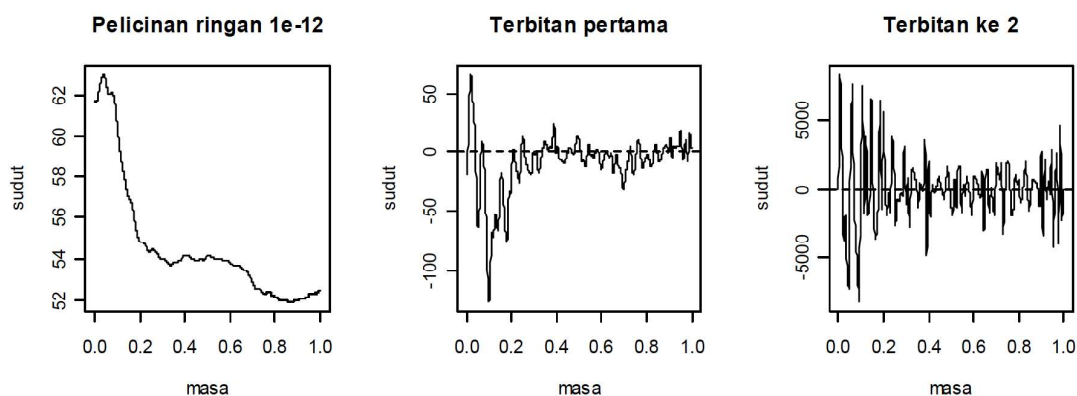
Parameter ujian pertama adalah dengan menggunakan parameter lalai, iaitu parameter yang dipilih oleh sistem secara automatik. Keputusan mendapati data telah dilicinkan sehingga menjadi satu garisan lurus pada terbitan pertama dan kedua (Rajah 2). Oleh itu, parameter lalai didapati tidak boleh digunakan dan ujian diteruskan dengan pelicinan ringan seperti di dalam Rajah 3.



Rajah 2: Parameter lalai yang digunakan dalam parameter ujian pertama

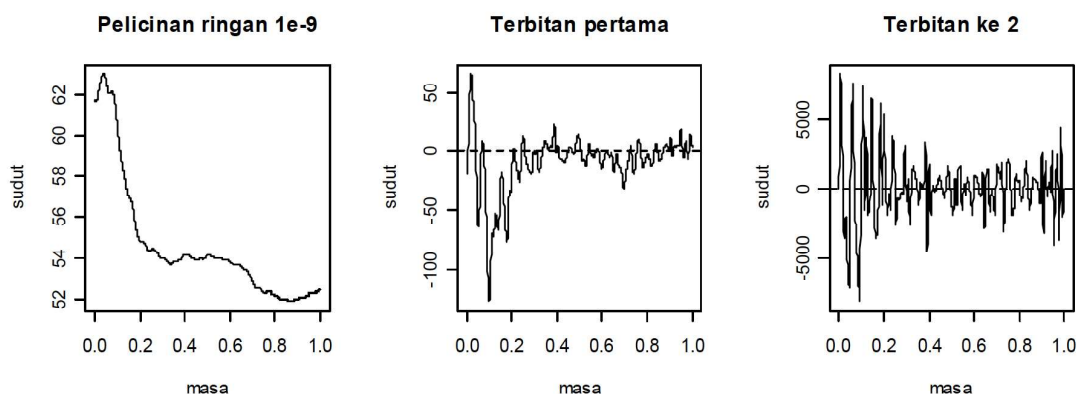


Pelicanan ringan adalah pelicanan dengan menggunakan jumlah pelicanan  $\lambda$  sebesar  $1e-12$  (Rajah 3). Keputusan ujian menunjukkan sudut asal bahu agak licin tetapi terbitan pertama dan kedua menunjukkan hasil pelicanan yang kurang baik dengan amplitud yang masih tinggi. Ujian diteruskan dengan cubaan jumlah pelicanan  $\lambda$  sebesar  $1e-9$  seperti di dalam Rajah 4.



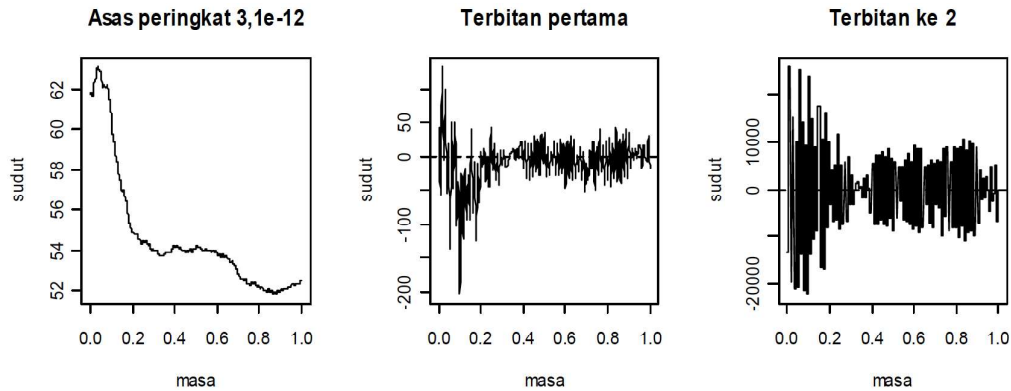
Rajah 3: Pelicanan ringan dengan jumlah pelicanan,  $\lambda = 1e-12$

Rajah 4 menunjukkan hasil yang tidak banyak berbeza daripada ujian sebelumnya. Oleh itu, jumlah pelicanan sahaja adalah tidak mencukupi dalam melicinkan data. Lantaran itu kembangan splin-B peringkat ketiga dan jumlah pelicanan  $\lambda = 1e-12$  diuji, Rajah 5.



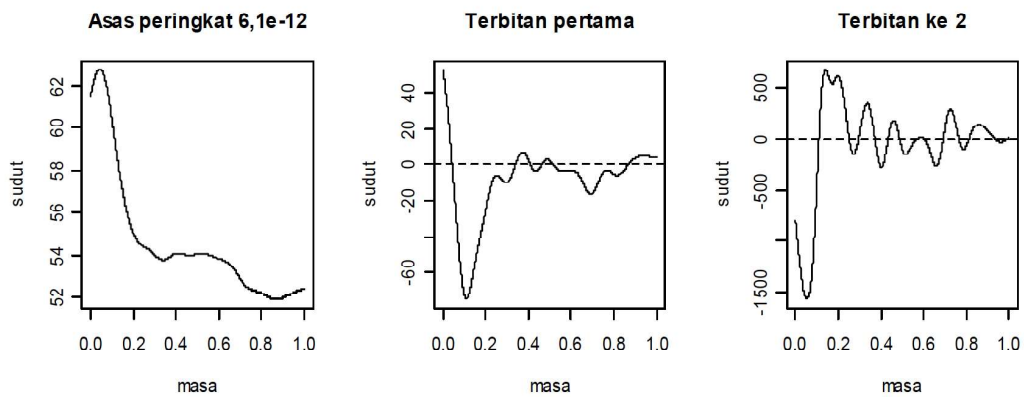
Rajah 4: Pelicanan ringan dengan jumlah pelicanan,  $\lambda = 1e-9$

Rajah 5 menunjukkan penggunaan kembangan splin-B peringkat ketiga dan jumlah pelicanan  $\lambda = 1e-12$  tidak berupaya melicinkan data. Ujian seterusnya adalah dengan menggunakan asas splin-B peringkat keenam, Rajah 6.



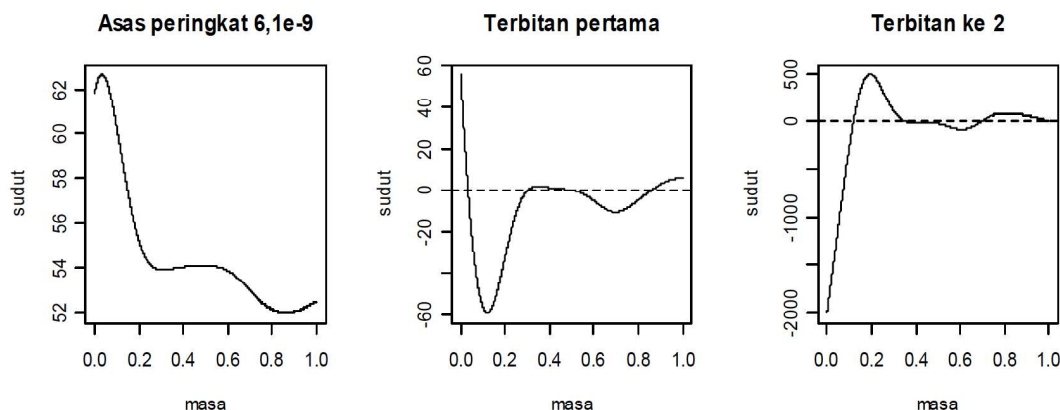
Rajah 5: Pelicinan dengan kembangan splin-B peringkat tiga dan jumlah pelicinan  $\lambda = 1e-12$

Rajah 6 menunjukkan kembangan splin-B peringkat keenam dan jumlah pelicinan  $\lambda = 1e-12$  memberikan data yang licin sebelum dan selepas pembezaan. Walau bagaimanapun, ujian ini meletakkan penalti pada terbitan kedua yang berkemungkinan mengenakan pelicinan yang terlalu banyak terhadap data. Ujian seterusnya adalah menambahkan jumlah pelicinan kepada  $1e-9$ , Rajah 7.



Rajah 6: Pelicinan dengan kembangan splin-B peringkat enam dan jumlah pelicinan  $\lambda = 1e-12$

Ujian menunjukkan data menjadi sangat licin baik pada data sudut sebelum mahupun selepas pembezaan. Ujian diteruskan dengan mengurangkan kadar kekasaran penalti pada terbitan yang lebih rendah tahapnya, iaitu pada terbitan keempat. Jumlah pelicinan diuji pada  $1e-12$ ,  $1e-11$  dan  $1e-10$ , Rajah 8.

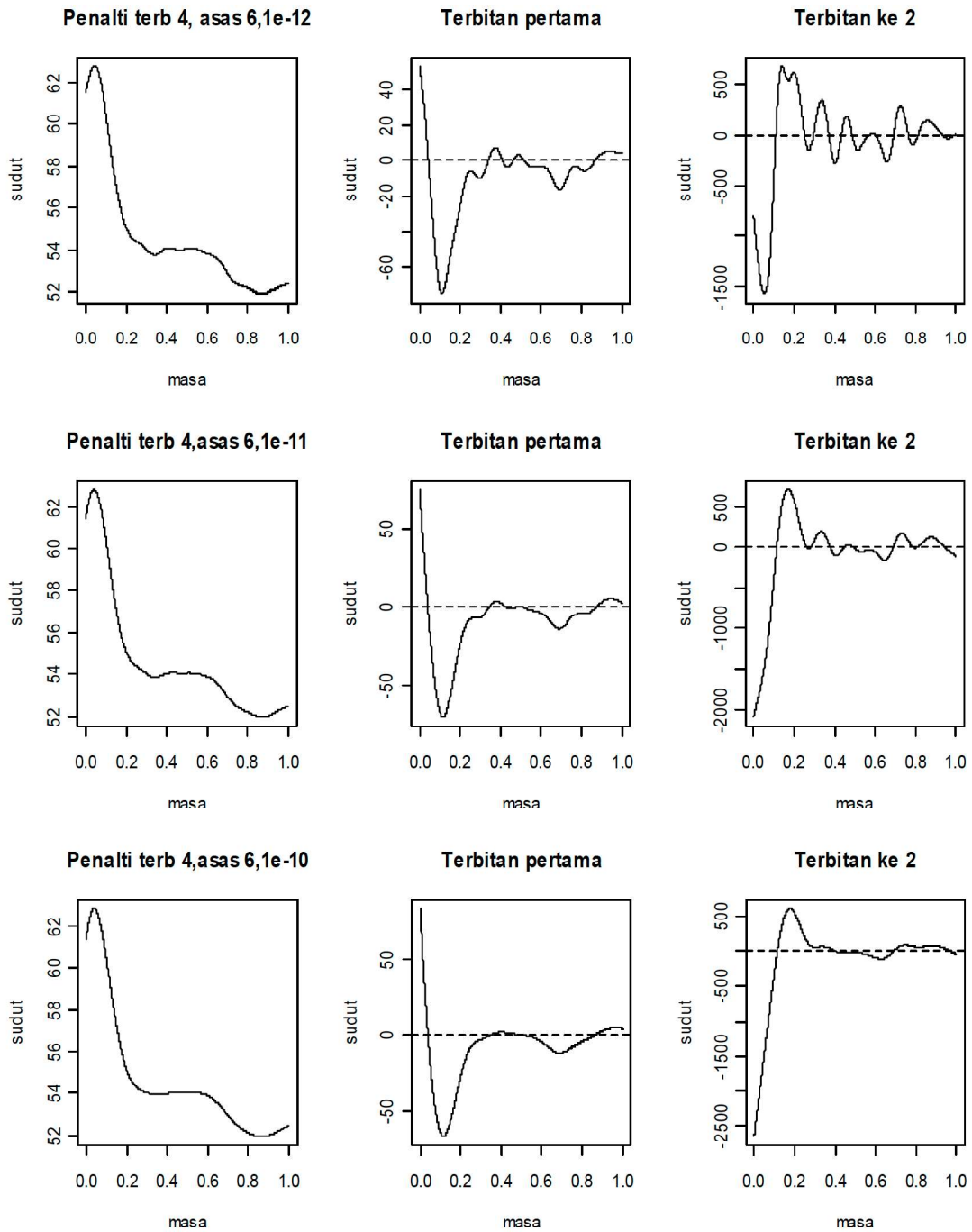


Rajah 7: Pelicinan dengan kembangan splin-B peringkat enam dan jumlah pelicinan  $\lambda = 1e-9$

Rajah 8 menunjukkan hasil yang sangat baik walaupun penalti kekasaran dikurangkan pada terbitan keempat. Pemilihan parameter pelicinan adalah dengan cara empirik dengan parameter pelicinan didapati berkemungkinan sesuai. Oleh itu, parameter tersebut terus digunakan terhadap sudut siku dan pergelangan tangan bagi melihat kesesuaian. Kemudian parameter yang sama digunakan terlebih dahulu pada model matematik biomekanik kaedah Kane yang telah dibangunkan oleh Wan Din dan Rambely (2011) bagi melihat hasil akhir kajian bagi satu subjek. Beberapa parameter telah diuji sebelum menetapkan parameter yang paling baik terhadap keseluruhan data kajian.

Pelicinan ADF didapati sangat sesuai digunakan dengan parameter pelicinan menggunakan kembangan splin-B kuintik dengan penalti kekasaran yang ditetapkan secara terus pada terbitan keempat dengan jumlah pelicinan  $\lambda = 1e-12$ . Setelah pemilihan parameter pelicinan terbaik dipilih, parameter tersebut kemudiannya digunakan pada keseluruhan data ujian ketepatan menembak bagi tujuan analisis seterusnya.





Rajah 8: Pelicinan dengan penalti kekasaran pada terbitan keempat, kembangan splin-B peringkat enam dan jumlah pelicinan  $\lambda = 1e-12$  (baris atas),  $\lambda = 1e-11$  (baris tengah) dan  $\lambda = 1e-10$  (baris bawah)

## 5. Kesimpulan

Pelvicin ADF adalah proses yang sangat berkesan untuk melicinkan data biomekanik. Parameter pelvicin menggunakan kembangan splin-B kuintik dengan penalti kekasaran yang ditetapkan secara terus pada terbitan keempat dengan jumlah pelvicin  $\lambda = 1e-12$  merupakan parameter yang berfungsi dengan baik terhadap data ketepatan tembakan. Selain daripada ujian statistik, keupayaan ADF dalam melicinkan data adalah amat membantu dalam membolehkan proses analisis seterusnya dilakukan terhadap setiap data biomekanik.

## Penghargaan

Kajian ini mendapat peruntukan daripada geran UKM-GUP-2011-154 dan UKM-OUP-NBT-28-135/2011. Terima kasih kepada Universiti Pertahanan Nasional Malaysia (UPNM) yang telah membiayai pengajian peringkat Doktor Falsafah, pihak Universiti Malaya yang menyediakan makmal analisis gerakan dan perbincangan yang bermanfaat, dan PALAPES UKM yang memberi khidmat subjek militari yang berpengalaman bagi tujuan uji kaji dan maklumat tatacara ketenteraan.

## Rujukan

- Allard P., Stokes I. A. & Blanche J. P. 1995. *Three Dimensional Analysis of Human Movement*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Anderssen R.S. & Bloomfield P. 1974. Numerical differentiation procedures for non-exact data. *Numerische Mathematik* **22**: 157-182.
- Cullum J. 1971. Numerical differentiation and regularisation. *SIAM Journal on Numerical Analysis* **8**: 254-265.
- D'Amico M & Ferrigno G. 1990. Technique for the evaluation of derivatives from noisy biomechanical displacement data using a model-based-bandwidth-selection procedure. *Medical Biology and Engineering Computing* **30**: 851-855.
- Din W. R. W., Rambely A. S. & Jemain A. A. 2011. Load carriage analysis for Malaysian military using functional data analysis technique. Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Modelling, Simulation & Applied Optimization (ICMSAO), IEEE Xplore, pp. 1-8, Kuala Lumpur.
- Dohrmann C., Busby H. & Trujillo D. 1988. Smoothing noisy data using dynamic programming and generalised cross validation. *Journal of Biomechanical Engineering* **110**: 37-41.
- Elmer S. J. & Martin J. C. 2009. Fourier Series Approximations and Low pass filtering : Facilitating learning of digital signal processing for biomechanics students. *Sportscience* **13**: 1-8.
- Erer K. S. 2007. Adaptive usage of the Butterworth digital filter. *Journal of Biomechanics* **40** (2007): 2934-2943.
- Giakas G. & Baltzopolous V. 1997. A comparison of automatic filtering techniques applied to biomechanical walking data. *Journal of Biomechanics* **30**(8): 847-850
- Manal K. & Rose W. 2007. A general solution for the time delay introduced by a low-pass Butterworth digital filter: An application to musculoskeletal modeling. *Journal of Biomechanics* **40**: 678-681.
- Nagano A. 2003. Optimal digital filter cutoff frequency of jumping kinematics. *Journal of Sport and Health Science* **1**(2):196-201.
- Ramsay J. O., Hooker G. & Graves S. 2009. *Functional Data Analysis with R and MATLAB*, New York: Springer.
- Ramsay J. O. & Silverman B. W. 2005. *Functional Data Analysis*. Ed. ke-2. New York: Springer.
- Robertson D. G. E. & Dowling J. J. 2003. Design and responses of Butterworth and critically damped digital filters. *Journal of Electromyography and Kinesiology* **13**: 569-573.
- Sabatini A. M. 2003. Real-time Kalman filter applied to biomechanical data for state estimation and numerical differentiation. *Med. Biol. Eng. Computing* **41**: 2-10.
- Simons W. & Yang K. 1991. Differentiation of human motion data using combined spline and least squares concepts. *Journal of Biomechanical Engineering* **113**: 348-351.
- Wan Din W. R. & Rambely A. S. 2011. Biomechanics of a rifle-firing model: Effects of rifle dynamics on target accuracy. *International Journal of Applied Mathematics & Statistics* **23**: Number D11.

- Winter D. A. 1990. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. Ed. ke-2. Toronto, Ontario: Wiley-Interscience.
- Winter D. A. 2005. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. Ed. ke-3. Toronto, Ontario: Wiley-Interscience.
- Wood G. A. 1982. Data smoothing and differentiating procedures in biomechanics. *Exercise and sport science Reviews* **10**: 308-62.
- Yu B. 1989. Determination of the optimum cutoff frequency in the digital filter data smoothing procedure. *Proceeding of the 12<sup>th</sup> International Congress of Biomechanics*, University of California, Los Angeles.

<sup>1</sup>*Pusat Asasi Pertahanan dan Sains Gunaan  
Universiti Pertahanan Nasional Malaysia  
57000 Kem Sg Besi  
Kuala Lumpur  
MALAYSIA  
Mel-e: wwanrozita@yahoo.com\**

<sup>2</sup>*Pusat Pengajian Sains Matematik  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi  
Selangor DE, MALAYSIA  
Mel-e: asr@ukm.my, azizj@ukm.my*

---

\* *Corresponding author*