

Kejituan Datum Carta dalam Tempoh Cerapan Pasang Surut: Kajian Kes di Teluk Ewa, Pulau Langkawi

(An Accuracy of Chart Datum in the Tidal Observation Period: Case Study for
Teluk Ewa, Pulau Langkawi)

Khairul Nizam Abdul Maulud*, Zaaim Hasan & Othman A. Karim

ABSTRAK

Kajian ini menghuraikan kejituan datum carta di stesen pasang surut Teluk Ewa, Pulau Langkawi. Data cerapan pasang surut selama 19 tahun di Teluk Ewa diproses dan dianalisa dengan menggunakan perisian pasang surut iaitu "RMN Asean Australia Tidal Software" bagi menentukan nilai datum carta model cerapan 19 tahun (Datum rujuk), setiap tahun, 6 bulan, 3 bulan dan bulanan. Kejituan datum diuji mengikut pematuhan piawai Pertubuhan Hidrografi Antarabangsa (IHO). IHO menetapkan ralat datum 5cm bagi pengukuran kelas khas dan 10cm bagi pengukuran kelas 1 dan ke bawah. Keputusan menunjukkan sisihan piawai bagi semua model datum carta (satu sigma) adalah kurang daripada 10cm namun tidak pada dua sigma. Aliran sisihan piawai datum carta menunjukkan ia semakin baik sekiranya tempoh cerapan semakin panjang. Namun begitu, tempoh cerapan tahunan merekodkan sisihan datum carta kurang daripada 11cm sepanjang 19 tahun. Kejadian pasang surut bersifat lokasi khusus maka pendekatan menyeluruh mengenai kejituan datum carta negara hanya dapat dimodelkan setelah kajian dilaksanakan terhadap semua stesen pasang surut.

Kata kunci: Perubahan cuaca; IHO; kenaikan paras laut; analisis statistik; hidrografi

ABSTRACT

This study elaborates the precision of chart datum at Teluk Ewa, Langkawi Island. Observed tidal data for 19 years at Teluk Ewa tidal station were processed and analyzed using the "RMN Asean Australia Tidal Software" to determine values of chart datum for 19 years observation models (Reference datum), yearly, 6 monthly, 3 monthly and monthly. Datum precisions were tested conforming with International Hydrographic Organization (IHO) Standard. IHO had determined that datum error for special class survey must be less than 5cm and 10cm for first class survey and below. Results showed that the standard deviations (one sigma) for all model of chart datum are less than 10cm, however at two sigma it proved otherwise. The trend of chart datum standard deviation indicated that longer period of observation record better standard deviations. Tides are site specific, therefore holistic approach of the country's chart datum precision could only be modeled once the studies on all tidal stations are completed.

Keywords: Bandwidth; phase range; phase slope; triangular loop; transparent conductive film

PENGENALAN

Datum Carta merupakan aras rujukan pasang surut bagi kedalaman carta nautika, pengukuran hidrografi dan juga ramalan pasang surut (Estopinal 2009; Kavanagh, 2009; Mills & Dodd, 2014). Ini bermakna kedalaman batimetri yang tertera dalam carta nautika dan ketinggian pasang surut pada jadual pasang surut dirujuk kepada aras yang sama. Menurut Charlier dan Finkl (2009), seluruh negara di dunia merujuk kepada kenaikan dan penurunan aras laut relatif dengan permukaan bumi. Ketidaktentuan paras pasang surut mempunyai kaitan dengan perubahan aras laut dan perubahan cuaca global (Tjia & Sharifah Mastura 2013). Perubahan suhu permukaan laut mampu memberikan kesan dan perubahan kepada nilai bacaan pasang surut (Yuki et al. 2012).

Amnya, semua negara bersetuju bahawa datum carta adalah tikas air surut, di mana pada bila-bila masa kedalaman sebenar tidak akan berada lebih rendah daripada kedalaman yang tertera dalam carta nautika dan keadaan ini menyebabkan pelaut lebih berkeyakinan untuk belayar. Datum carta bersifat tempatan kerana ianya berbeza dari satu tempat ke satu tempat. Menurut Wright et al. (2007) dan Kavanagh (2009), datum carta diperlukan untuk membuat penyelarasan pengukuran di dalam kerja-kerja hidrografi.

Sehingga kini aras yang diguna pakai sebagai datum carta tidak seragam. Amerika Syarikat menggunakan aras Air Surut Paras Terendah manakala United Kingdom menggunakan Air Surut Falak Terendah dan Kanada pula mengguna pakai Air Surut Biasa Terendah walaupun IHO menyarankan penggunaan Pasang Surut Falak Terendah. Menurut IHO-S51(1993) perbezaan definisi aras datum

carta secara global mendatangkan impak yang ketara bagi penentuan sempadan maritim kerana negara yang berjiran mungkin menggunakan aras datum yang berbeza dan tidak bersetuju dengan penggunaan datum negara jiran. Ia boleh menyebabkan pembahagian sempadan yang tidak sekata. Dalam kes ini, konsep garis sama jarak mungkin dipertikaikan. Amnya, perbezaan sifat pasang surut di seluruh dunia telah menyebabkan tatacara perolehan nilai datum, definisi tepat dan unggul bagi aras datum carta tidak dapat dipersetujui oleh masyarakat dunia sehingga kini. Ketidakeragaman dan kepastian berkenaan dengan Datum Carta akan mengakibatkan masalah di dalam penentuan sempadan negara Malaysia (Zaaim et al. 2008).

Menurut surat pekeliling IHO-CL80/2004 Aras Pasang Surut Falak Terendah (APSFT) merupakan aras paling sesuai bagi datum carta. Manakala IHO-S51 1993 pula menyatakan datum carta diperolehi melalui tempoh cerapan pasang surut sekurang-kurangnya sebulan. APSFT merupakan ketinggian terendah aras pasang surut dan ianya dihasilkan melalui ramalan pasang surut selama 19 tahun dengan menggunakan pemalar harmonik yang di tentukan melalui tempoh cerapan. APSFT adalah nilai tersurut dalam ramalan pasang surut selama 19 tahun. Ia merupakan nilai rujukan kepada pengukuran hidrografi, penerbitan jadual pasang surut dan penerbitan carta nautika. Ketepatan ramalan pasang surut bergantung kepada nilai aras laut min dan siri amplitud dan fasa jujuk yang diguna pakai. Manakala kejituan aras laut min, siri amplitud dan fasa jujuk pula bergantung kepada tempoh cerapan data pasang surut yang diguna pakai. Algoritma bagi analisis harmonik dan ramalan menurut Luick (2004) adalah seperti berikut:

$$H_p(t) = Z_0 + \sum_{n=1}^N [f_n H_n \cos(\sigma_n t) - g_n + V_n(t_0) + U_n(t)], \quad (1)$$

di mana,

- N = jumlah harmonik atau jujuk pasang surut dalam model,
- Z_0 = aras laut min,
- f_n = pembetulan faktor nod,
- H_n = amplitud bagi harmonik ke n ,
- σ_n = kelajuan sudut (dalam darjah/ jam) bagi harmonik ke n ,
- g_n = susulan fasa bagi harmonik ke n di belakang $V_n(t_0) + U_n(t_0)$, diselaraskan untuk zon masa analisis.
- $V_n(t_0)$ = fasa bagi jujuk pasang surut keseimbangan di Greenwich pada masa asalan,
- U_n = pembetulan bagi V_n , iaitu pembetulan fasa nod.

Kajian datum carta di pantai barat Taiwan oleh Chang dan Sun (2004) mendapati selisihan datum bulanan sebanyak 12.3 cm manakala kajian Swanson (NOAA 2003) mendapati bahawa anggaran ralat datum pasang surut pada 1 sigma (σ) bagi cerapan satu bulan di pantai timur dan pantai barat Amerika Syarikat adalah sebanyak 0.08 m dan 0.11 m. Objektif kajian adalah untuk memastikan datum carta yang

digunapakai dapat disemak setelah berlakunya satu kitaran penuh nod bulan dan perubahan astronomikal yang berlaku. Justeru itu, ralat datum kawasan maritim negara harus dihuraikan kerana ia dapat memberi keyakinan dan ketepatan terhadap sesuatu pengukuran hidrografi.

METODOLOGI

Data cerapan pasang surut di stesen pasang surut Teluk Ewa selama 19 tahun diguna pakai bagi melaksanakan kajian ini. Julat data ini dicadangkan oleh Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM) kerana nilainya yang konsisten. Data diproses dengan menggunakan perisian “*RMN Asean-Australia Tidal Software*” bagi memperoleh nilai datum carta bagi tempoh cerapan selama 19 tahun (Datum rujuk), tahunan, 6 bulan, 3 bulan dan 1 bulan. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan perisian *SPSS* bagi memperoleh perbezaan datum min, sisihan piawai dari datum rujuk dan datum min. Saiz ralat diukur pada tahap 2σ sisihan piawai dan hasil analisis dihubungkan dengan tahap piawai IHO. Lokasi kajian adalah seperti dalam Rajah 1.

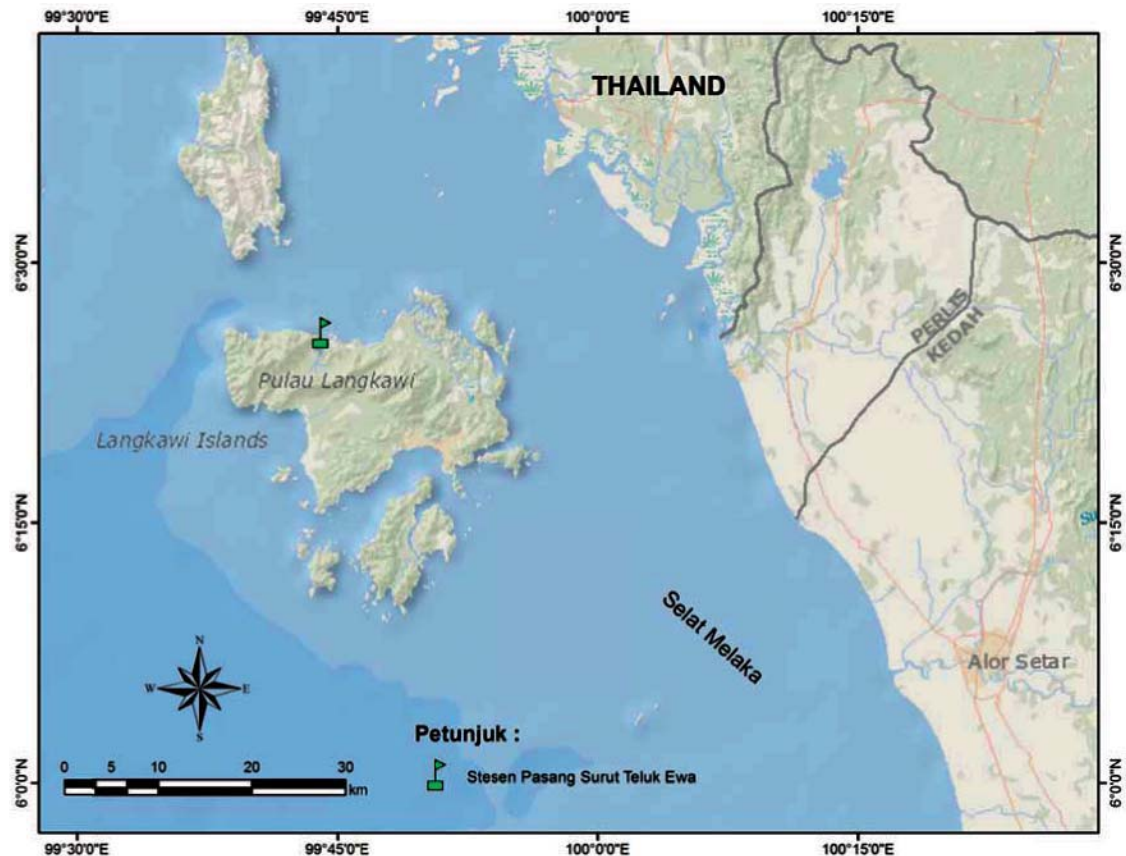
Carta alir perlaksanaan kajian adalah seperti dalam Rajah 2. Nilai datum carta yang diperolehi merupakan ketinggian terendah dalam tempoh ramalan selama 19 tahun. Analisis harmonik menghasilkan siri amplitud dan susulan fasa jujuk-jujuk pasang surut serta aras laut min. Jujuk-jujuk pasang surut digunakan untuk proses ramalan. Data-data di proses dengan menggunakan pelbagai set bacaan dan di lakukan analisis statistik dengan menggunakan perisian statistik. Hasil statistik dilakukan ujian piawaian berdasarkan kriteria IHO.

Secara teori, nilai datum yang paling sesuai diperolehi melalui cerapan 19 tahun kerana ia memenuhi kitaran penuh nod bulan dan mengambil kira semua perubahan astronomikal. Kitaran penuh nod bulan berlaku setiap 18.6 tahun (Baart et al. 2012 & Tanaka et al. 2012). Oleh itu, penyelidik menggunakan datum carta bagi tempoh cerapan selama 19 tahun sebagai datum rujukan.

Model cerapan yang diguna pakai adalah seperti berikut:

1. 19 tahun (datum rujukan),
2. Tahunan (bagi tempoh selama 19 tahun),
3. 6 bulan (bagi tempoh selama 19 tahun),
4. 3 bulan (bagi tempoh selama 19 tahun), dan
5. 1 bulan (bagi tempoh selama 19 tahun).

Hasil yang diperolehi dianalisis secara statistik bagi ujian ‘normality’ pada taburan datum dan taburan aras laut min, sisihan piawai dari min dan datum rujuk pada satu sigma (1σ) dan dua sigma (2σ). Kestabilan atau kebolehpercayaan jujuk tahunan dan bulanan diuji melalui nisbah ralat amplitud dan sisihan piawai amplitud dan susulan fasanya. Kajian statistik terhadap pemalar atau jujuk harmonik dilakukan bagi menentukan kestabilan dan keyakinan jujuk serta mengenalpasti jujuk yang sesuai digunakan bagi proses ramalan pasang surut. Sebanyak 112 jujuk dihasilkan melalui analisa harmonik bagi tempoh cerapan tahunan. Nilai amplitud dan fasa bagi jujuk tahunan (19 set), selama 19



RAJAH 1. Lokasi Stesen pasang surut Teluk Ewa, Pulau Langkawi

tahun digunakan untuk menghasilkan nisbah ralat amplitud dan sisihan piawai bagi amplitud dan susulan fasa tahunan.

Sebanyak 41 jujuk pasang surut dihasilkan melalui analisa harmonik bagi tempoh cerapan bulanan. Jujuk-jujuk bulanan selama 35 bulan (35 set) digunakan untuk menghasilkan nisbah ralat amplitud dan sisihan piawai bagi amplitud dan susulan fasa bulanan. Kedua-dua parameter, nisbah ralat amplitud dan sisihan piawai susulan fasa dijadikan sebagai kriteria penerimaan/penolakan bagi jujuk yang digunakan untuk proses ramalan.

Tatacara berikut digunakan:

1. Memperolehi nilai purata amplitud, A dan fasa, θ serta selisihan piawai, σ bagi jujuk .
2. Memperolehi nilai S (Min selisihan piawai bagi amplitud) dengan menggunakan persamaan $S = \sigma/\sqrt{n}$, dengan n sebagai jumlah cerapan.
3. Nisbah ralat amplitud adalah $r = S/A$.
4. Bagi ujian taburan T (*two tailed student's t table*) selama 19 tahun, kriteria penerimaan/penolakan adalah nisbah ralat amplitud kurang daripada $1/2.101$ (sekiranya *degree of freedom* = 18) pada 95 peratus tahap keyakinan. Jujuk yang mempunyai nisbah ralat > 0.4759 tidak diterima pakai bagi proses ramalan.
5. Kriteria penerimaan atau penolakan fasa adalah sisihan piawainya tidak melebihi 90° . Oleh itu, jujuk

yang mempunyai sisihan piawai melebihi 90° tidak diterima pakai untuk proses ramalan.

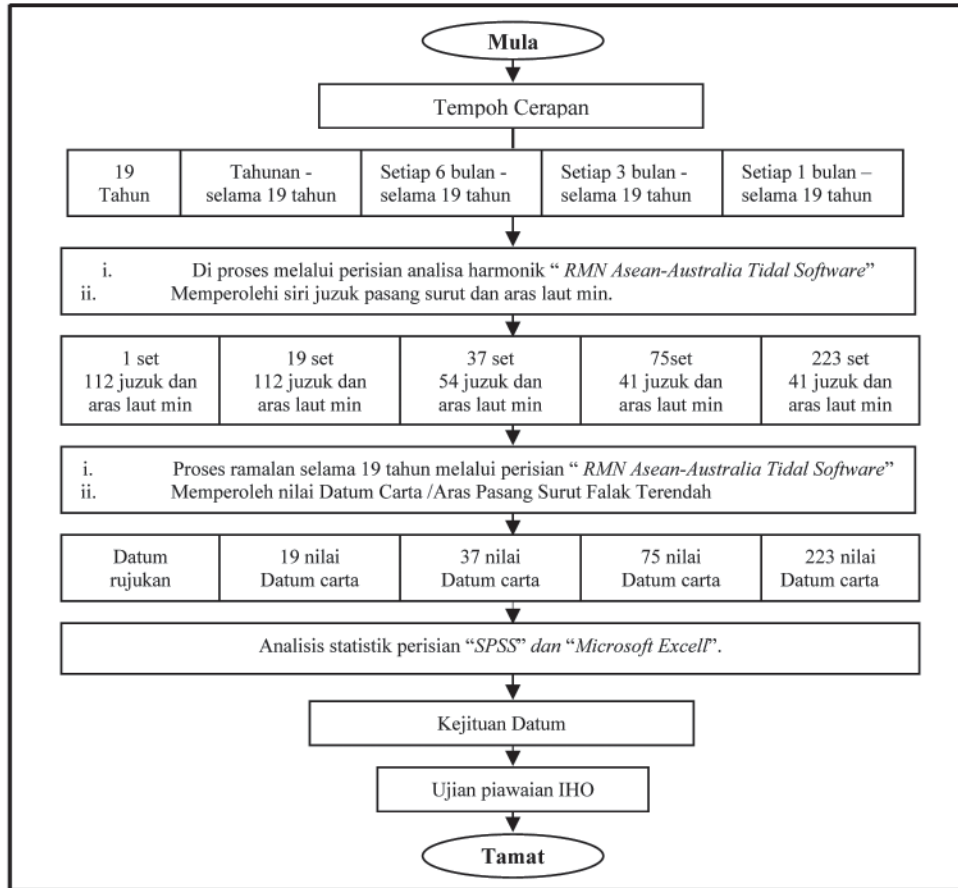
Perbandingan berikut dilaksanakan untuk menentukan kejaitan jujuk pasang surut tempoh cerapan tahunan dan bulanan:

1. Sisihan piawai susulan fasa tahunan dan sisihan fasa bulanan.
2. Sisihan piawai amplitud tahunan dan bulanan.
3. Nisbah amplitud tahunan (amplitud tahunan/ amplitud 19 tahun) dan nisbah amplitud bulanan (amplitud bulanan/amplitud 19 tahun).

Hubung kait antara datum carta dan aras laut min juga diwujudkan melalui ujian korelasi dan regresi antara parameter tersebut. Sebanyak 60 sampel digunakan untuk menghasilkan pekali, R , R^2 dan fungsi garisan linear.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Hasil yang diperolehi menunjukkan kepada penemuan yang signifikan terhadap perubahan datum carta dan keperluan ketepatan pengukuran yang tinggi. Jadual 1 menunjukkan hasil ujian kenormalan Kolmogorov-Smirnov dengan nilai "sig" bagi semua tempoh cerapan adalah daripada 0.05. Ini bermakna taburan datum carta bagi semua tempoh cerapan



RAJAH 2. Carta alir analisis kejituan datum carta

adalah bersifat normal. Rajah 3 menggambarkan lengkungan yang berbentuk loceng menguatkan kesahihan ciri-ciri taburan normal.

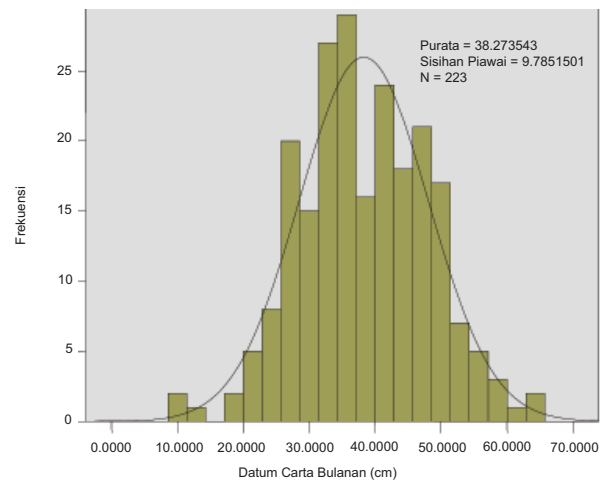
JADUAL 1. Ujian kenormalan terhadap taburan datum carta

Datum Carta	Kolmogorov-Smirnov(a)		
	Statistik	df	Sig.
1 Bulan	0.041	223	0.200(*)
3 Bulan	0.072	75	0.200(*)
6 Bulan	0.102	37	0.200(*)
1 Tahun	0.093	19	0.200(*)

* Nilai terendah yang signifikan
(a) Pembetulan "Lilliefors"

Jadual 2 menunjukkan datum carta min tahunan yang merekodkan sisihan paling hampir dengan datum rujukan. Bacaan bagi cerapan 3 bulan menunjukkan perbezaan yang besar dengan datum rujuk.

Jadual 3 menunjukkan datum carta bulanan merekodkan sisihan maksimum (29 cm) dan sisihan piawai yang paling tinggi jika dibandingkan dengan tempoh cerapan yang lain. Semakin panjang tempoh cerapan semakin baik sisihan piawainya manakala aliran sebaliknya berlaku apabila perbandingan perbezaan piawai min dianalisis. Perkara ini



RAJAH 3. Taburan normal datum carta bulanan

JADUAL 2. Sisihan datum carta min dari datum rujukan

Tempoh Datum Carta	Datum Carta Min (cm)	Sisihan dari Datum Rujuk = 38 cm (cm)
Bulanan	38.2735	0.2735
3 bulan	39.0133	1.0133
6 bulan	38.2432	0.2432
Tahunan	37.8947	0.1053

timbul kerana jumlah data berbeza dan ianya bersesuaian dengan formula berikut:

$$\text{Perbezaan piawai min} = \text{sisihan piawai} / \sqrt{\text{jumlah data}} \quad (2)$$

Oleh itu perbezaan datum dari min tidak digunakan sebagai pengukur saiz ralat dan sisihan piawai lebih sesuai

diguna pakai bagi menjelaskan saiz ralat datum carta. Nilai julat Datum Carta yang tinggi pada tempoh cerapan bulanan (55 cm) menunjukkan terdapat beberapa data yang berada pada tahap terlampaui atau unsur luaran pada tempoh tersebut.

JADUAL 3. Statistik deskriptif datum carta Teluk Ewa

Analisis Statistik dalam cm (Datum Rujuk = 38 cm)							
Tempoh Cerapan	Jumlah Sampel	Sisihan Piawai	Sisihan Piawai dari Datum Rujuk	Perbezaan Piawai	Sisihan Piawai 2σ (1.9599 σ)	Julat Datum Carta	Sisihan Maksimum dari Datum Rujuk
Tahunan	19	5.724	5.725	1.313	11.220	21	11
6 bulan	37	5.997	6.002	0.986	11.763	27	16
3 bulan	75	7.082	7.154	0.818	14.021	43	26
1 bulan	223	9.785	9.791	0.655	19.189	55	29

Rajah 4 menunjukkan Plot Batang – dan - Daun. Plot ini menunjukkan nilai datum bulanan yang dikategorikan sebagai terlampaui atau menghampiri terlampaui adalah nilai $= < 10$ cm (2 kes) dan $62 \text{ cm} = >$ (3 kes). Walaupun terdapat 2 kes di mana nilainya dikategorikan sebagai terlampaui/unsur luaran ($= < 10$ cm) iaitu 9 cm dan 10 cm namun ia tidak menjejaskan taburan data yang normal. Nilai terlampaui yang rendah telah menyebabkan pencong negatif kepada taburan data.

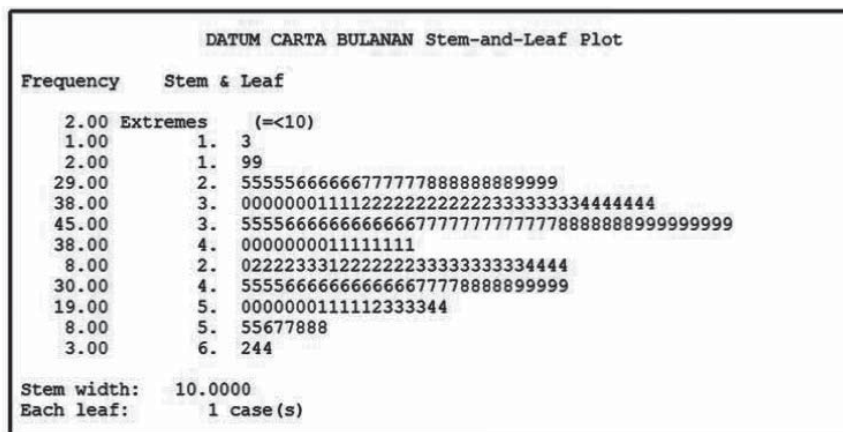
Berdasarkan kepada Rajah 5, rumusan datum carta pada kebarangkalian 2σ (95.46%) mengikut tempoh cerapan adalah seperti berikut:

1. Tahunan: 95.46 peratus daripada nilai Datum Carta berada dalam lingkungan $38 \text{ cm} \pm 11.22 \text{ cm}$ (daripada 26.78 cm hingga 49.22 cm). Kesemua data berada dalam lingkungan tersebut.
2. 6 bulan: 95.46 peratus daripada nilai datum carta berada dalam lingkungan $38 \text{ cm} \pm 11.76 \text{ cm}$ (daripada 26.24 cm hingga 49.76 cm). 2.7 peratus data tidak berada dalam lingkungan tersebut.

3. 3 bulan: 95.46 peratus daripada nilai Datum Carta berada dalam lingkungan $38 \text{ cm} \pm 14.02 \text{ cm}$ (daripada 23.98 cm hingga 52.02 cm). 4 peratus data tidak berada dalam lingkungan tersebut.
4. 1 bulan: 95.46 peratus daripada nilai Datum Carta berada dalam lingkungan $38 \text{ cm} \pm 19.19 \text{ cm}$ (daripada 18.81 cm hingga 57.19 cm). 3.6 peratus data tidak berada dalam lingkungan tersebut.

Manakala pada kebarangkalian 1σ (68.27%) rumusan datum carta mengikut tempoh cerapan adalah seperti berikut:

1. Tahunan: dianggarkan 68.27% daripada nilai Datum Carta berada dalam lingkungan $38 \text{ cm} \pm 5.73 \text{ cm}$ (daripada 32.27 cm hingga 43.73 cm) 21.1% data tidak berada dalam lingkungan tersebut.
2. 6 bulan: dianggarkan 68.27% daripada nilai Datum Carta berada dalam lingkungan $38 \text{ cm} \pm 6.00 \text{ cm}$ (daripada 32 cm hingga 44 cm) 27% data tidak berada dalam lingkungan tersebut.

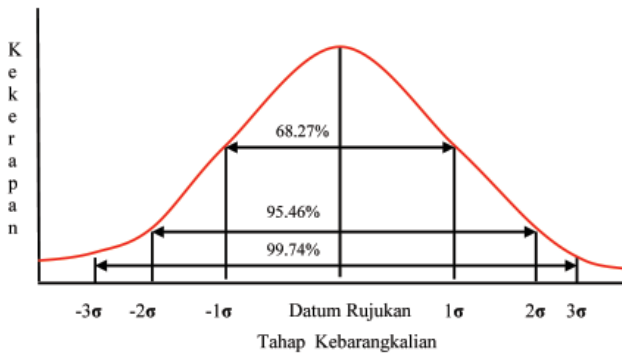


RAJAH 4. Plot Batang-dan Daun bagi nilai datum carta bulanan

3. 3 bulan: dianggarkan 68.27% daripada nilai Datum Carta berada dalam lingkungan $38 \text{ cm} \pm 7.15 \text{ cm}$ (daripada 30.85 cm hingga 45.15 cm). 25.3% data tidak berada dalam lingkungan tersebut.
4. 1 bulan: dianggarkan 68.27% daripada nilai Datum Carta berada dalam lingkungan $38 \text{ cm} \pm 9.79 \text{ cm}$ (daripada 28.21 cm hingga 47.79 cm). 36.3% data tidak berada dalam lingkungan tersebut.

11.22 cm dan penghampiran dengan nilai ralat pada datum ini menunjukkan kestabilan data tahunan baik walaupun ia tidak mencapai tahap IHO pada tahap 2σ . Nilai datum carta bagi tempoh 5 tahun juga telah diproses, sisihan piawainya dari datum rujuk adalah 3.69 cm pada 1σ .

KESIMPULAN DAN CADANGAN



RAJAH 5. Lengkung kebarangkalian dan saiz ralat 1σ , 2σ dan 3σ

Kajian datum carta di stesen pasang surut Teluk Ewa, Langkawi jelas menunjukkan bahawa tempoh cerapan kurang daripada 1 tahun tidak dapat memenuhi kehendak IHO pada tahap 2 sigma. Penggunaan datum carta yang jitu amat penting bagi tugas hidrografi yang memerlukan ketepatan yang tinggi seperti penentuan titik pangkal negara. Natijahnya, penggunaan datum carta yang dihasilkan daripada cerapan kurang 1 tahun boleh menyebabkan negara kerugian zon maritim terutama sekali di kawasan pengukuran yang mempunyai kecerunan pesisir depan yang landai. Kejadian pasang surut adalah berbeza dari lokasi ke lokasi atau bersifat "site specific". Kajian ini juga dapat meningkatkan lagi kejituan ramalan pasang surut sedia ada dengan penggunaan jujuk-jujuk yang dihasilkan melalui tempoh 19 tahun.

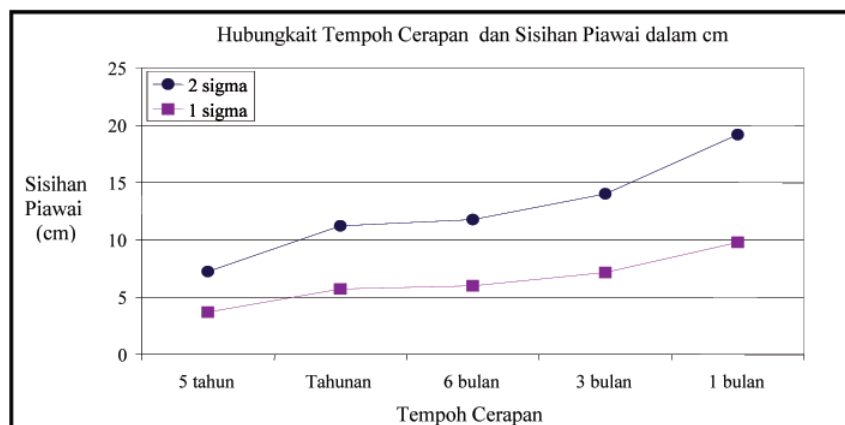
Hasil kajian menunjukkan datum carta bagi tempoh cerapan tahunan mempunyai peratusan taburan data paling jitu kerana 78.9 peratus daripada nilai datumnya berada dalam lingkungan 1σ dan 100 peratus daripada nilai datumnya dalam lingkungan 2σ . IHO-S44 (1998) menetapkan bahawa ralat pada datum carta tidak melebihi 5cm bagi pengukuran kelas khas dan 10 cm bagi pengukuran kelas 1 dan ke bawah dan nilai ralat pada datum carta ini tidak dipinda dalam piawaian kerja hidrografi edisi 2008 (IHO-S44,2008). Hasil analisis pada Rajah 6 jelas menunjukkan bahawa sisihan pada 1σ berada di bawah 10cm bagi semua tempoh cerapan. Manakala pada sisihan 2σ semua tempoh cerapan yang diuji tidak menepati kedua-dua kelas pengukuran yang dinyatakan. Walaupun demikian sisihan bagi tempoh cerapan 1 tahun tidak pernah melewati 10 cm sepanjang 19 tahun. Tambahan pula, pada anggaran kebarangkalian 95.4 peratus (2σ) mendapati kesemua datum tahunan berada dalam lingkungan $38 \text{ cm} \pm$

PENGHARGAAN

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Tentera Laut Diraja Malaysia dan Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia, di atas data-data dan kerjasama yang dihulurkan. Penulis juga ingin merakamkan penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas tajaan penyelidikan melalui Geran Galakan Penyelidik Muda GGPM-2014-021 dan Geran Universiti Penyelidikan – GUP-2014-038.

RUJUKAN

Baart, F., van Gelder, P. H. A. J. M., de Ronde, J., van Koningsveld, M. & Wouters, B. 2012. The Effect of the 18.6-year lunar nodal cycle on regional sea-level rise estimates. *Journal of Coastal Research* 28(2): 511-516.



RAJAH 6. Sisihan pada 1σ dan 2σ

- Chang, C. C. & Sun, Y. D. 2004. Application of a GPS-based method to tidal datum transfer. *The Hydrographic Journal* 112: 15-20.
- Charlier, R. H. & Finkl, C. W. 2009. *Ocean Energy: Tide and Tidal Power*. Berlin: Springer.
- Estopinal, S. V. 2009. *A Guide to Understanding Land Surveys*. United States of America: John Wiley & Sons.
- IHO-CL 80/2004. 2004. *Datums and Bench Marks*. International Hydrographic Bureau, Monaco, 1 Desember.
- IHO-S44. 1998. *Standard For Hydrographic Surveys*. Special Publication No. 44. 4th Edition. Monaco: International Hydrographic Bureau.
- IHO-S44. 2008. *Standard For Hydrographic Surveys*. Special Publication No. 44. 5th Edition. Monaco: International Hydrographic Bureau.
- IHO-S51. 1993. *A Manual on Technical Aspects of the United Nations Convention on The Law of the Sea-1982*. Special Publication No. 51. 3rd Edition. Monaco: International Hydrographic Bureau.
- Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia. 2006. Salinan data digital cerapan pasang surut setiap jam bagi stesen tetap tolok pasang surut Teluk Ewa, Pulau Langkawi dari tempoh 1986 hingga 2014 dalam format DNM. Kuala Lumpur: Jabatan Ukur dan Pemetaan, Malaysia.
- Kavanagh, B. F. 2009. *Surveying: Principles and Applications*. 8th Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Luick, J. L. 2004. *Australian Tidal Handbook*. Adelaide: Australian Government, Bureau of Meteorology.
- Mills, J. & Dodd, D. 2014. *Ellipsoidally Referenced Surveying for Hydrography*. Helsinki: International Federation of Surveyors (FIG).
- NOAA. 2003. *Computational Techniques for Tidal Datum Handbook*. Maryland: US Department of Commerce.
- Tanaka, Y., Yasuda, I., Hasumi, H., Tatebe, H. & Osafune, S. 2012. Effects of the 18.6-yr modulation of tidal mixing on the north pacific bidecadal climate variability in a coupled climate model. *Journal of Climate* 25: 7625-7642.
- Tjia, H. D. & Sharifah Mastura, S. A., 2013, *Sea Level Changes in Peninsular Malaysia*. Bangi: Penerbit UKM.
- Wright, D. J., Blongewicz, M. J., Halpin, P. N. & Breman, J. 2007. *Arc Marine: GIS for a Blue Planet*. United States of America: ESRI Press.
- Zaaim Hasan, Othman A. Karim & Khairul Nizam Abdul Maulud, 2008, Impak perubahan datum carta dan kecerunan pesisir depan terhadap ketidakpastian kedudukan titik pangkal Malaysia. *Sains Malaysiana* 37(2): 123-130.

Khairul Nizam bin Abdul Maulud*
 Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur
 Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43600 UKM, Bangi
 Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Pusat Pencerapan Bumi (EOC),
 Institut Perubahan Iklim,
 Universiti Kebangsaan Malaysia
 43600 UKM, Bangi
 Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Zaaim bin Hasan
 Pusat Hidrografi Nasional,
 Bandar Armada Putra,
 Pulau Indah, 42009 Pelabuhan Klang,
 Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Othman A. Karim
 Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur,
 Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,
 Universiti Kebangsaan Malaysia,
 43600 UKM, Bangi,
 Selangor Darul Ehsan, Malaysia

*Penulis koresponden; emel: knam@ukm.edu.my

Tarikh serahan: 30 Mac 2015

Tarikh terima: 8 Jun 2015