

Perhitungan Koreksi Tidal dengan Menggunakan Bahasa Pemrograman Scilab untuk Pengolahan Awal Data Gravimeter Relatif

Eko Januari Wahyudi^{1,a)}, Indra Gunawan¹⁾, M. Hidayat¹⁾ dan Pujiyanti Sri Lestari¹⁾

¹⁾Laboratorium Geofisika Eksplorasi,
Kelompok Keilmuan Geofisika Eksplorasi,
Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} ekojw@gf.itb.ac.id (corresponding author)

Abstrak

Formula percepatan gravitasi tidal akibat Bulan dan Matahari membantu kita untuk menghitung koreksi tidal secara teoretik pada setiap waktu dan posisi di permukaan Bumi. Aplikasi dari perhitungan percepatan gravitasi tidal tersebut sangat umum dilakukan pada tahap awal pengolahan data gravimeter relatif. Pada pekerjaan ini, kami menyusun program koreksi tidal dengan menggunakan bahasa pemrograman Scilab. Hasil perhitungan pada program tersebut selanjutnya diperbandingkan dengan nilai variasi tidal yang diamati dengan gravimeter kontinu (gPhone). Pola kurva yang ditunjukkan dari perbedaan nilai variasi tidal yang teramati dan perhitungan teoretik masih terlihat sebagai osilasi yang harmonik dengan rentang -6 sampai 6 μGal . Pola tersebut menunjukkan pengaruh ocean tidal loading (OTL) yang belum diperhitungkan pada pekerjaan ini.

Kata-kata kunci: komputasi, koreksi tidal, scilab, gravity

PENDAHULUAN

Suatu ringkasan formula percepatan gravitasi tidal akibat Bulan dan Matahari yang dipublikasikan oleh Longman (1959) membantu kita untuk menghitung *Earth Tide* (ET) pada setiap waktu dan titik di permukaan Bumi. Pada publikasi tersebut beberapa sumber referensi dan konstanta perhitungan coba kami pahami dan telusuri sumbernya sehingga pada studi ini, kami mencoba menyampaikan pekerjaan yang lebih deskriptif sehingga bisa lebih mudah untuk melihat bagaimana perhitungan tersebut bisa dilakukan. Pada studi ini kami memerlukan referensi terkait dengan orbit bumi, astronomi, fisika, dan komputasi. Selanjutnya menggunakan data-data tersebut kami menyusun algoritma perhitungannya dengan menggunakan bahasa pemrograman Scilab dan melakukan validasi hasil perhitungan dengan variasi tidal dari data observasi.

Aplikasi dari perhitungan ET sangat umum digunakan untuk pengolahan data awal dari akuisisi data gravimeter relatif. Perhitungan ET pada studi ini melibatkan percepatan gravitasi tidal akibat Bulan dan Matahari pada komponen vertikal (g_o) yang secara matematis ditunjukkan dengan persamaan (1) berikut:

$$g_o = g_m + g_s. \quad (1)$$

Pada Gambar 1 ditunjukkan ilustrasi untuk menjelaskan ET di suatu titik di permukaan Bumi akibat pengaruh Bulan. Vektor dari *tidal force* yang bekerja di titik tersebut memiliki komponen vertikal dan horizontal terhadap referensi permukaan Bumi. Penyederhanaan dari komponen vertikal dari *tidal force* (g_m) pada suatu titik di permukaan Bumi yang diakibatkan oleh Bulan ditunjukkan dengan formulasi matematis sebagai berikut:

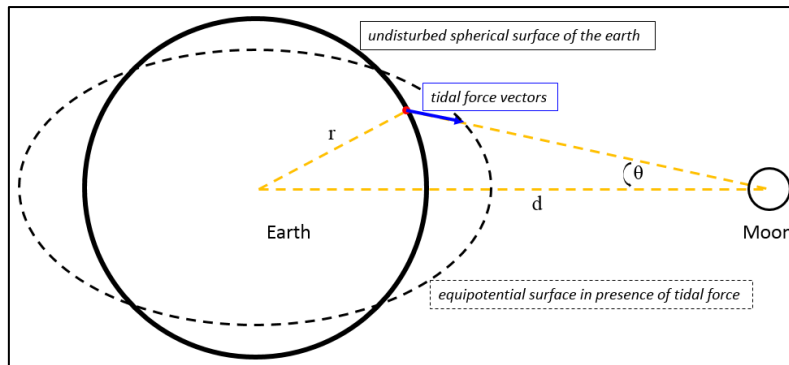
$$g_m = \frac{\mu M r}{d^3} (3 \cos^2 \theta - 1) + \frac{3 \mu M r^2}{2 d^4} (5 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta). \tag{2}$$

Pada persamaan (2) simbol-simbol matematis yang digunakan terdiri dari: μ , M , r , d , dan θ secara berturut-turut adalah konstanta gravitasi, massa Bulan, rata-rata jarak dari pusat ke permukaan Bumi, rata-rata jarak dari pusat Bumi ke pusat Bulan, dan sudut zenith pada Bulan.

Menggunakan ilustrasi yang serupa, maka penyederhanaan dari komponen vertikal dari *tidal force* (g_s) pada suatu titik di permukaan Bumi yang diakibatkan oleh Matahari ditunjukkan dengan formulasi matematis sebagai berikut:

$$g_s = \frac{\mu S r}{D^3} (3 \cos^2 \varphi - 1). \tag{3}$$

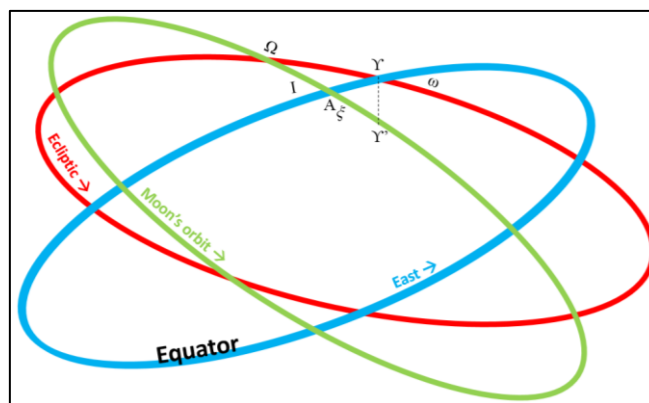
Pada persamaan (3) simbol-simbol yang belum dijelaskan terdiri dari: S , D , dan φ secara berturut-turut adalah massa Matahari, rata-rata jarak dari pusat Bumi ke pusat Matahari, dan sudut zenith pada Matahari.



Gambar 1. Ilustrasi *Earth Tide* (ET) pada suatu titik di permukaan Bumi akibat Bulan (disederhanakan dari Brosche dan Schuh (1998); Doan dan Brodsky (2006))

Perubahan jarak dan sudut antara Bumi-Bulan (parameter d dan θ di persamaan (2)) serta perubahan jarak dan sudut Bumi-Matahari (parameter D dan φ di persamaan (3)) melibatkan koordinat-koordinat di Bumi, Bulan, dan Matahari. Koordinat di permukaan Bumi dapat kita tentukan secara 3 dimensi dalam (lintang, bujur, dan ketinggian), sedangkan untuk koordinat Bulan (l) pada bidang orbit dalam bujur yang dikenali dari perpotongan *equator* dan *ascending* Bulan (A). Demikian juga untuk koordinat Matahari (l') pada bidang ekliptik dalam bujur yang dikenali dari *vernal equinox* (γ).

Pada Gambar 2 ditunjukkan ilustrasi parameter orbit yang selanjutnya membantu memberikan penjelasan sudut zenith Bulan dan Matahari. Perhitungan sudut zenith Bulan dan Matahari melibatkan parameter orbit dan melibatkan banyak persamaan dengan menggunakan data-data astronomi. Untuk memahami hal tersebut, perhitungan sudut zenith secara bertahap dapat kita lakukan selanjutnya dalam beberapa bagian.



Gambar 2. Ilustrasi parameter orbit Bumi, Bulan, dan Matahari (digambar ulang berdasarkan Longman, 1959)

SATUAN WAKTU DAN JARAK

Persamaan (1), (2), dan (3) merupakan suatu fungsi dari waktu dan juga jarak. Dengan demikian, parameter yang perlu diketahui tim akuisisi sebagai input perhitungan adalah koordinat stasiun (bujur (L), lintang (λ), elevasi (H)) di permukaan bumi dan waktu pengambilan data *gravity* yang akan dihitung variasi koreksi tidalnya. Satuan koordinat stasiun (bujur dan lintang) menggunakan radian, sehingga untuk menghitung sudut waktu (t) dari rata-rata Matahari yang terukur ke arah Barat dari lokasi stasiun pengamatan bisa menggunakan formulasi matematis berikut:

$$t = 2\pi(T - \text{floor}(T)) + L. \tag{4}$$

Pada persamaan (4) nilai T adalah *Julian Date*, sedangkan fungsi *floor* (pembulatan ke bawah) digunakan untuk menghitung referensi dari setiap siklus 2π dari sudut waktu. Satuan waktu dalam hari (*days*) dengan “epoch 2000”. Berdasarkan algoritma yang dikembangkan oleh Willy Weng pada tahun 1976, Rene Forsberg pada tahun 1992 (fortran), dan hasil modifikasi cct/eva dalam Tom Van Baak website (www.LeapSecond.com/tools), kita mendapatkan referensi nilai *Julian Date* (JD) = 2451545 pada tanggal 1 Januari 2000 jam 12:00:00. Zona waktu yang digunakan masih dalam GMT (*Greenwich Mean Time*) Untuk referensi lebih lanjut terkait hal ini, kita bisa membaca lebih lanjut pada pekerjaan Fliegel dan van Flandren yang dipublikasikan pada tahun 1968 sebagaimana yang dinyatakan oleh Karttunen dkk. (2007).

Pada Gambar 1 kita bisa menghitung jarak antara koordinat stasiun dan pusat dari model *spheroid* Bumi. Model *spheroid* Bumi sebagai fungsi dari lintang (λ) akan memberikan nilai r_s (jari-jari *spheroid*) yang relatif lebih panjang di bagian ekuator dan lebih pendek di bagian kutub. Formulasi matematis dari nilai r_s setelah ditambahkan elevasi (H) koordinat stasiun ditunjukkan pada persamaan (5) berikut ini:

$$r = r_s + H = \frac{r_e}{\sqrt{1 + 0.006738 \sin^2 \lambda}} + H. \tag{5}$$

Rata-rata jari-jari Bumi (r_e) bisa digunakan data pada Tabel 1. Satuan jarak (r , r_e , r_s , dan H) adalah cm sedangkan untuk koordinat bujur dan lintang menggunakan satuan radian.

INISIALISASI PERHITUNGAN

Pada bagian ini, akan ditunjukkan formulasi perhitungan beberapa parameter astronomi berdasarkan pekerjaan Schureman (1924 dan 1941). Parameter astronomi yang dihitung pada bagian inisialisasi ini merupakan parameter-parameter yang terlibat dalam menentukan sudut zenith Bulan dan Matahari di persamaan (1) dan (2). Beberapa simbol parameter astronomi yang akan ditunjukkan dalam formulasi matematis terdiri dari: s , p , h , N , I , v , σ , χ , p_l , e_l , dan χ_l , sedangkan konstanta-konstanta yang terlibat dalam perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta-konstanta dalam perhitungan percepatan gravitasi tidal

Simbol	Konstanta	Keterangan	Satuan
e	0.054899720	eksentrisitas orbit Bulan ^(a)	
c	3.84402×10^{10}	jarak rata-rata antara pusat Bumi dan Bulan ^(b)	cm
c_l	$1.495978707 \times 10^{13}$	jarak rata-rata antara pusat Bumi dan Matahari ^(c)	cm
i	5.145	inklinasi orbit Bulan terhadap ekliptik ^(a)	derajat
ω	23.43927944	inklinasi ekuator Bumi terhadap ekliptik ^(c)	derajat
S	1.9884×10^{33}	massa Matahari ^(c)	gram
M	7.3458×10^{25}	massa Bulan ^(c)	gram
μ	6.67428×10^{-8}	konstanta gravitasi universal ^(c)	$\text{cm}^3 \text{g}^{-1} \text{s}^{-2}$
m	0.074804	rasio pergerakan rata-rata Matahari dan Bulan ^(a)	
r_e	6.3781366×10^8	rata-rata jari-jari Bumi ^(c)	cm

Catatan:

^(a) Disebutkan dalam paper Longman (1959)

^(b) *Default input* algoritma oleh Weng, Forsberg, dan hasil modifikasi cct/eva arsip file di *website* Tom Van Baak (www.LeapSecond.com/tools)

- (c) Diambil/dihitung dari *selected astronomical constants 2018 production of the astronomical almanac* (www.asa.usno.navy.mil)

Bujur rata-rata dari Bulan pada orbitnya (s) dapat diketahui dari *referred equinox* (Y'').

$$s = 270^{\circ}26'14.72'' + (1336 \text{ rev.} + 1108411.20'')T + 9.099''T^2 + 0.0068''T^3 \quad (6)$$

Persamaan (6) merupakan formulasi dari Schureman dengan T adalah nilai *Julian Date* (JD).

Bujur rata-rata dari *perigee* Bulan (p) dapat dihitung dengan persamaan (7).

$$p = 334^{\circ}19'40.87'' + (11 \text{ rev.} + 392515.94'')T - 37.24''T^2 - 0.045''T^3 \quad (7)$$

Bujur rata-rata dari Matahari (h) dapat dihitung dengan persamaan (8).

$$h = 279^{\circ}41'48.04'' + 129602768.13''T + 1.089''T^2 \quad (8)$$

Bujur dari *ascending node* Bulan pada orbitnya (N) dapat diketahui dari *referred equinox* (dimana $N=\Omega Y''$). Parameter N dapat dihitung dengan persamaan (9).

$$N = 259^{\circ}10'57.12'' - (5 \text{ rev.} + 482912.63'')T + 7.58''T^2 + 0.008''T^3 \quad (9)$$

Selanjutnya Longman (1959) juga menjelaskan perhitungan parameter I , v dan σ . Parameter pertama adalah I yang merupakan inklinasi dari orbit Bulan terhadap ekuator ditunjukkan dengan persamaan (10). Parameter kedua adalah v yang merupakan bujur pada *celestial equator* dari perpotongannya (A) dengan orbit Bulan ditunjukkan dengan persamaan (11). Parameter ketiga adalah σ yang merupakan bujur rata-rata dari Bulan dalam radian pada orbitnya yang diketahui dari *ascending intersection* dari orbit Bulan dengan ekuator (A) ditunjukkan dengan persamaan (12).

$$I = \tan^{-1} \left(\frac{\sin I}{\cos I} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - (\cos \omega \cos i - \sin \omega \sin i \cos N)^2}}{\cos \omega \cos i - \sin \omega \sin i \cos N} \right) \quad (10)$$

$$v = \sin^{-1} \left(\frac{\sin i \sin N}{\sin I} \right) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \sigma &= s - \xi = s - (N - \alpha) = s - N + 2 \tan^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} \right) \\ &= s - N + 2 \tan^{-1} \left(\frac{\sin \omega \sin N / \sin I}{1 + \cos N \cos v + \sin N \sin v \cos \omega} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

Parameter lainnya yang diperlukan untuk perhitungan sudut zenith Bulan dan Matahari adalah χ , χ_1 , p_1 , dan e_1 . Parameter χ merupakan *right ascension* dari meredian tempat pengamatan yang dikenali dari A, sedangkan parameter χ_1 merupakan *right ascension* dari meredian tempat pengamatan yang dikenali dari *vernal equinox*. Formulasi matematis untuk menghitung χ dan χ_1 masing-masing ditunjukkan pada persamaan (13) dan (14). Parameter p_1 adalah bujur rata-rata dari perigee Matahari dapat ditentukan dengan persamaan (15), sedangkan parameter e_1 adalah eksentrisitas orbit Matahari dapat ditentukan dengan persamaan (16). Persamaan (13) sampai (16) ditunjukkan sebagai berikut:

$$\chi = t + h - v \quad (13)$$

$$\chi_1 = t + h \quad (14)$$

$$p_1 = 281^{\circ}13'15'' + 6189.03''T + 1.63''T^2 + 0.012''T^3 \quad (15)$$

$$e_1 = 0.01675104 + (4.180 \times 10^{-5})T - (1.26 \times 10^{-7})T^2 \quad (16)$$

SUDUT ZENITH BULAN DAN MATAHARI

Untuk menghitung sudut zenith Bulan dan Matahari diperlukan posisi observasi di Bumi, di Bulan, dan Matahari. Posisi observasi di Bumi sudah kita dapatkan sejak awal pengamatan, sedangkan posisi di Bumi

dan Matahari ditunjukkan dalam posisi bujur (l dan l_1). Parameter l adalah bujur dari Bulan pada orbitnya yang dikenali dari perpotongan *ascending*-nya dengan ekuator, sedangkan parameter l_1 adalah bujur dari Matahari pada ekliptik yang dikenali dari *vernal equinox*. Dengan data-data dan perhitungan inisialisasi sebelumnya, perhitungan l dan l_1 diunjukkan pada persamaan (17) dan (18) sebagai berikut:

$$l = \sigma + 2e \sin(s - p) + \frac{5}{4}e^2 \sin 2(s - p) + \frac{15}{4}me \sin(s - 2h + p) + \frac{11}{8}m^2 \sin 2(s - h) \quad (17)$$

$$l_1 = h + 2e_1 \sin(h - p_1) \quad (18)$$

Pada persamaan (1) dan (2) nilai sudut θ dan φ yang diperlukan adalah nilai cosinusnya. Dengan data-data dan perhitungan inisialisasi sebelumnya, kita bisa menghitung fungsi cosinus untuk θ dan φ menggunakan persamaan (19) dan (20) berikut ini:

$$\cos \theta = \sin \lambda \sin l \sin l + \cos \lambda [\cos^2(0.5l) \cos(l - \chi) + \sin^2(0.5l) \cos(l + \chi)] \quad (19)$$

$$\cos \varphi = \sin \lambda \sin \omega \sin l_1 + \cos \lambda [\cos^2(0.5\omega) \cos(l_1 - \chi) + \sin^2(0.5\omega) \cos(l_1 + \chi)] \quad (20)$$

JARAK ANTARA BUMI-BULAN DAN BUMI-MATAHARI

Data-data dan perhitungan inisialisasi sebelumnya dapat digunakan untuk mendapatkan informasi jarak d dan D melalui persamaan (21) dan (22) berikut ini:

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{c} + \left(\frac{1}{c(1 - e^2)}\right) e \cos(s - p) + \left(\frac{1}{c(1 - e^2)}\right) e^2 \cos(2(s - p)) + \frac{15}{8} \left(\frac{1}{c(1 - e^2)}\right) me \cos(s - 2h + p) + \left(\frac{1}{c(1 - e^2)}\right) m^2 \cos(2(s - h)) \quad (21)$$

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{c_1} + \left(\frac{1}{c_1(1 - e_1^2)}\right) e_1 \cos(h - p_1) \quad (22)$$

SOLID EARTH TIDE AKIBAT BULAN DAN MATAHARI

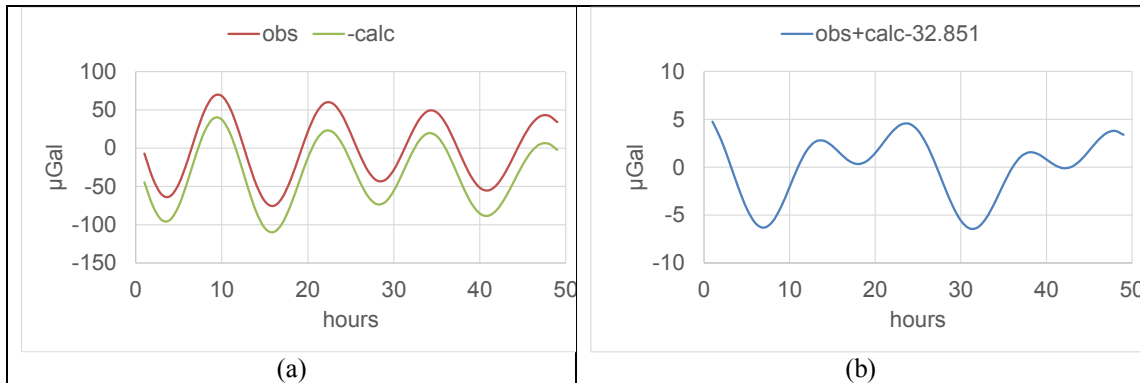
Setiap data yang diperlukan untuk menghitung percepatan gravitasi tidal akibat Bulan dan Matahari pada komponen vertikal (g_o) bisa kita peroleh dengan persamaan (3). Yang perlu diperhatikan, satuan percepatan gravitasi yang diperoleh adalah dalam satuan *cgs*, sehingga satuan percepatan gravitasi dari persamaan (3) adalah cm/s^2 atau Gal. Pada keperluan survei konvensional satuan percepatan gravitasi Gal bisa dikonversi menjadi mGal dengan cara mengalikan harganya dengan 1000. Penelitian Wolf (1940) menunjukkan bahwa korelasi antara observasi dan perhitungan tidal diperoleh dengan faktor sebesar $1+h_L-1.5k_L$. Faktor tersebut melibatkan bilangan Love (h_L dan k_L) sehingga dikenal sebagai *Love Factor*.

PERBANDINGAN ANTARA HASIL PERHITUNGAN DENGAN OBSERVASI TIDAL GPHONE

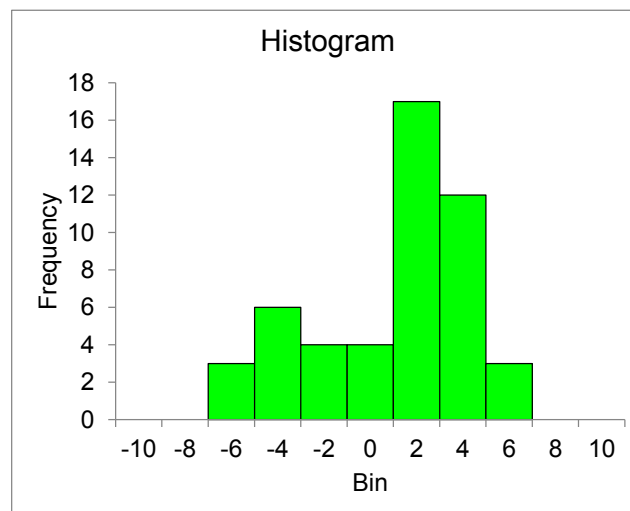
Penelitian sebelumnya (Wahyudi dkk., 2016) terkait dengan perekaman data *continuous gravity* menggunakan gPhone. Data tersebut selanjutnya dipisahkan menjadi beberapa komponen dengan BAYTAP. Salah satu komponen yang diperoleh adalah komponen tidal observasi. Data yang digunakan adalah rekaman gPhone #123 pada tanggal 4-6 April 2014.

Perbandingan antara tidal observasi (*obs*) dan hasil perhitungan (*cal*) komponen vertikal (g_o) persamaan (3) ditunjukkan pada Gambar 3. Perhitungan komponen vertikal (g_o) yang dilakukan pada penelitian ini masih sebatas *solid earth tides* dan belum memperhitungkan *ocean tidal loading*. Pada Gambar 3a ditunjukkan hasil perhitungan (*cal*) sebagai nilai negatif yang memiliki korelasi panjang gelombang yang baik dengan tidal observasi. Terkait dengan hal tersebut, Brosche dan Schuh (1998) menyampaikan suatu penjelasan umum yang singkat dari *tidal forces* dan *tidal effects*. Istilah *tides* secara luas dimaksudkan seperti *to causes* atau *effects*. Kita perlu membedakan keduanya dengan: *tidal forces* (percepatan gravitasi tidal) dan *tidal effects*.

Perbedaan amplitudo rata-rata antara *obs* dan *cal* mencapai 32.851 μGal . Perbedaan seperti itu berkemungkinan terjadi karena terdapat sedikit perbedaan model dalam perhitungan. Dengan mengabaikan nilai tersebut (32.851 μGal) kita bisa mendapatkan selisih antara *obs* dan $-cal$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3b. Pola pada Gambar 3b masih terlihat sebagai osilasi yang harmonik sebagaimana pola dari *ocean tidal loading* (OTL). Pengaruh dari OTL pada rentang waktu tersebut ditunjukkan mencapai -6 sampai 6 μGal , sebagaimana yang ditunjukkan pada histogram Gambar 4.



Gambar 3. (a) Perbandingan antara tidal observasi dan *calculated*, (b) selisih antara tidal observasi dan *calculated*



Gambar 4. Histogram dari Gambar 3b.

SCILAB CODE

Perangkat lunak untuk keperluan koreksi tidal dengan *graphical user interface* yang cukup memudahkan *user* disarankan menggunakan VIKI (<https://github.com/gunawanfryst/Viki---Gravity-Modeling/>) Sedangkan, berikut ini ditunjukkan implementasi perhitungan *solid earth tide* dengan bahasa pemrograman Scilab. Sebagai catatan, untuk nilai (persamaan 6,7, dan 9) $rev. = 15$ hari, $h_L = 0.59$ dan $k_L = 0.27$ diperoleh berdasarkan algoritma yang dikembangkan oleh Weng, Forsberg, dan hasil modifikasi cct/eva dalam arsip file pada *website* Tom Van Baak (www.LeanSecond.com/tools).

```
//start tidal correction (EJW-->01102017-26122017)
//helped by ign 18.01.2018
//julian date dengan epoch 2000 --> 1Jan2000 jam 12:00:00 = 2451545.0
clc ();
clear;
//input --> x,y,z coordinate
```

```

lat=-6.9281;
lon=107.7690;
height=800.62;
//input --> date & time with format: yyyy mm dd hh mm ss
dtm1=[2014 04 04 00 00 00];
dtm2=[2014 04 06 23 00 00];
//Konstanta2:
e=0.054899720;
c=3.84402E10;
c1=1.495978707E13;
i=5.145*%pi/180;
omega=23.43927944*%pi/180;
ss=1.9884E33;
mm=7.3458E25;
my=6.67428E-8;
m=0.074804;
a=6.3781366E8;
e_2=e*e;
year=[dtm1(1) dtm2(1)];
month=[dtm1(2) dtm2(2)];
day=[dtm1(3) dtm2(3)];
hour=[dtm1(4) dtm2(4)];
minute=[dtm1(5) dtm2(5)];
second=[dtm1(6) dtm2(6)];
for k=1:2
    if (month<=2) //January & February
        year=year-1;
        month=month+12;
    end
    jd = floor(365.25*(year+4716))+floor(30.6001*(month+1))+2...
        -floor(year/100.0)+floor(floor(year/100)/4)+day-1524.5...
        +(hour+minute/60+second/3600)/24-2451545.0;
end
//series per minute = 1/(60*24) day
time=(jd(1):(1/(24));jd(2));
//perhitungan julian centuries
tt=time/36525+1.0;
tt2=tt.*tt;
tt3=tt2.*tt;
//perhitungan parameter s, p, h, N, p1, e1 (cek Longman(1959)) dg satuan radians
s= 4.720023438+(8399.7093.*tt)+(4.40695E-5.*tt2)+(3.29E-8.*tt3);
p= 5.835124721+(71.018009.*tt)-(1.80546E-4.*tt2)-(2.181E-7.*tt3);
h= 4.881627934+(628.33195.*tt)+(5.2796E-6.*tt2);
N= 4.523588570-(33.757153.*tt)+(3.67488E-5.*tt2)+(3.87E-8.*tt3);
p1= 4.908229467+(3.0005264E-2.*tt)+(7.9024E-6.*tt2)+(5.81E-8.*tt3);
e1= 0.01675104-(4.18E-5.*tt)-(1.26E-7.*tt2);
e1_2=e1.*e1;
//Perhitungan jarak antara pusat bumi dan bulan:
aprim=1/(c*(1-e_2));
alprim=1./(c1.*(1-e1_2));
resd=(1/c)+(aprim*e.*cos(s-p))+(aprim*e_2*cos(2*(s-p)))+...
    ((15/8)*aprim*m.*e.*cos(s-2*h+p))+(aprim*m*m.*cos(2*(s-h)));
resdd=(1./c1)+(alprim.*e1.*cos(h-p1));
//Perhitungan sudut di Bulan dan matahari:
coslambdacos=cos(lat*%pi/180);
sinlambdacos=sin(lat*%pi/180);
r=(a*(sqrt(1/(1+0.006738*(sinlambdacos^2))))+(height.*100);
LL=lon*%pi/180;
cosii=cos(omega)*cos(i)-sin(omega)*sin(i)*cos(N);
sinii=sqrt(1-(cosii).^2);
ii=atan(sinii./cosii);
ny=asin(sin(i).*sin(N)./sinii);
t=2.*%pi.*(time-floor(time))+LL;
ksi1=t+h;

```

```

ksi=ksi1-ny;
L1=h+(2.*e1.*sin(h-p1));
alfa=2.*atan((sin(omega).*sin(N)./sin(ii)./(1+cos(N).*cos(ny)+sin(N).*sin(ny).*cos(omega)));
sigma=s-N+alfa;
L=sigma+(2.*e.*sin(s-p))+(5.*e_2.*sin(2.*(s-p)/4)+(15.*m.*e.*sin(s-2.*h+p)/4)+(11.*m.*m.*sin(2.*(s-h)/8));
costheta=(sinlambda.*sin(ii).*sin(L))+(coslambda.*((cos(ii./2)).^2.*cos(L-ksi))+(sin(ii./2)).^2.*cos(L+ksi));
cosphi=(sinlambda.*sin(omega).*sin(L1))+(coslambda.*((cos(omega./2)).^2.*cos(L1-
ksi1))+(sin(omega./2)).^2.*cos(L1+ksi1));
//Perhitungan komponen vertikal (tidal)
LoveFactor = 1 + 0.59 - 1.5 * 0.27;
gs=(my.*ss.*r.*(resdd).^3).*3.*(cosphi).^2-1);
gm=((my.*mm.*r.*(resd).^3).*3.*(costheta).^2-1))+((3.*my.*mm.*r).^2.*(resd).^4./2).*5.*(costheta).^3-
3.*costheta);
g0=(gm+gs)*1000000*LoveFactor; //mikroGal
//konversi waktu dalam jam
jam=(time-time(1)).*24;
subplot(2,1,1);
plot(jam,g0)
xlabel("hour(s)","fontsize",3,"color","black");
ylabel("earth tide (mGal)","fontsize",3,"color","black");
//konversi waktu dalam menit
menit=(time-time(1)).*24*60;
subplot(2,1,2);
plot(menit,-g0,"*")
xlabel("minute(s)","fontsize",3,"color","black");
ylabel("minus earth tide (mGal)","fontsize",3,"color","black");

```

KESIMPULAN

Pada studi di makalah ini telah ditunjukkan bahwa perhitungan untuk koreksi tidal bisa dilakukan dengan menyusun algoritma pada bahasa pemrograman Scilab. Validasi hasil perhitungan ditunjukkan dengan pola kurva variasi tidal yang teramati dan perhitungan teoretik. Perhitungan koreksi tidal yang ditunjukkan masih terbatas pada *earth tide* saja dan belum melibatkan perhitungan *ocean tidal loading*. Perbandingan hasil perhitungan dengan data observasi masih menunjukkan sedikit osilasi yang harmonik dengan rentang -6 sampai 6 μGal .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Makalah ini didanai oleh FTTM ITB 2016.

REFERENSI

1. Schureman, P. A manual of the harmonic analysis and prediction of tides, *US Coast and Geodetic Survey, Special Publication*, **98** (1924)
2. Wolf, A. Tidal force observations, *Geophysics*, **5**, 317-320 (1940)
3. Schureman, P. A manual of the harmonic analysis and prediction of tides, *US Coast and Geodetic Survey, Special Publication Revised Edition*, **98** (1941)
4. Longman, I. M. Formulas for computing the tidal accelerations due to the Moon and the Sun, *Journal of Geophysical Research*, **64**, 2351-2355 (1959)
5. Brosche, P. dan Schuh, H. Tides and earth rotation, *Surveys in Geophysics*, **19**, 417-430 (1998)
6. Doan, M. L. dan Brodsky, E. E. Tidal analysis of water level in continental boreholes, *A tutorial version 2.2 University of California* (2006)
7. Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M., and Donner, K. J., *Fundamental Astronomy* 5th edition Springer Berlin (2007)
8. Wahyudi, E. J., Fukuda, Y., Nishijima, J., and Itakura, M. Performance test of gPhone (#123, #126, and #127) in Kyoto and ITB Jatinangor, *Journal of Physics: Conference Series*, **739**, 012033