

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Relokasi Hiposenter Gempa Bumi

4.1.1 Hiposenter Gempa Bumi Sebelum Relokasi

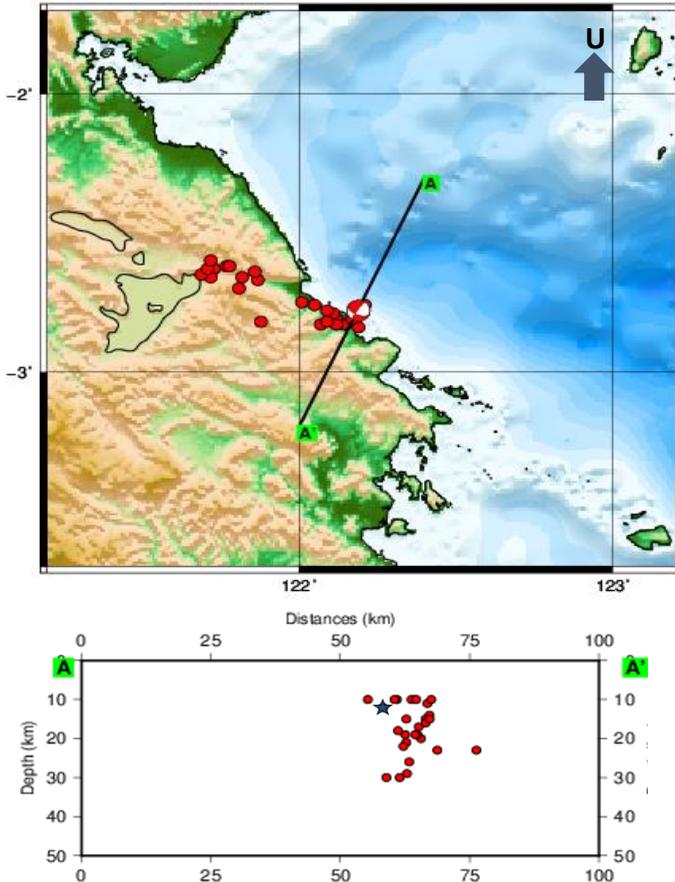
Data pada penelitian ini diperoleh secara langsung dari *Seiscomp3* di BMKG. Jumlah gempa bumi yang akan digunakan dalam relokasi terdapat 28 gempa bumi terdiri dari 1 gempa bumi utama (*mainshock*) dan 27 gempa bumi susulan (*aftershock*), dimulai pada tanggal 24 Mei 2017 sampai 24 Juni 2017.

Diketahui bahwa BMKG dalam penganalisaan gempa bumi menggunakan model kecepatan global yaitu IASP91 sehingga pada penelitian ini model kecepatan yang digunakan bukan model kecepatan lokal namun global. Menurut Putri (2012), model kecepatan IASP91 adalah model kecepatan bumi satu dimensi yang dihasilkan oleh IASPEI yang mengasumsikan bahwa bumi homogen isotropis.

Hasil Peta sebaran hiposenter sebelum direlokasi menggunakan GMT dapat terlihat pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2**. Pada hasil kedua peta tersebut terdapat *cross section* terhadap bidang *nodal* pertama dengan *strike* 116° , *dip* 56° dan *slip* -11° dan bidang *nodal* kedua dengan *strike* 212° , *dip*: 81° dan *slip*: -145° . Pembuatan *cross section* pada setiap *nodal* tersebut berdasarkan mekanisme *focal* gempa bumi yang diambil tegak lurus. Tujuan dari diberinya *cross section* tersebut untuk dapat melihat konsentrasi sebaran letak lokasi dan kedalaman hiposenter hingga dapat diketahui bidang patahan yang terjadi pada daerah penelitian ini.

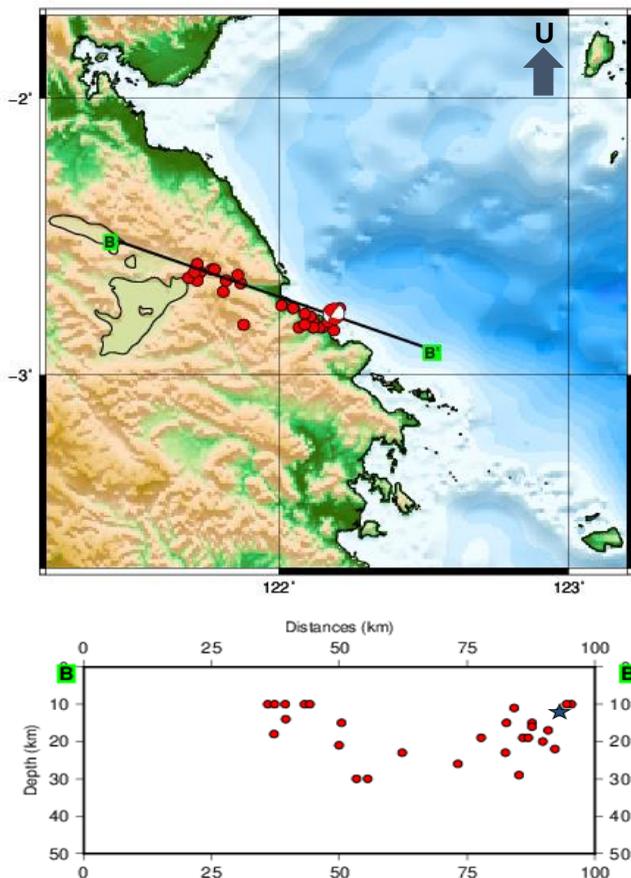
Pada **Gambar 4.1** menunjukkan distribusi hiposenter gempa bumi BMKG sebelum dilakukan relokasi dengan *cross section* untuk bidang *nodal* pertama. Jika dilihat pada hasil *cross section* pada penampang A-A' menunjukkan masih ada beberapa hiposenter gempa bumi yang kedalamannya kurang lebih 10 kilometer, hal itu dinamakan *fixed depth* yang didapatkan dari hasil manual oleh operator saat menganalisa gempa bumi atau pada *Seiscomp3* di BMKG, termasuk juga gempa utama yang berada pada kedalaman 12 kilometer. Dengan adanya hasil kedalaman hiposenter yang *fixed depth* di

beberapa *event* gempa bumi dapat menandakan hasil yang kurang tepat namun bisa juga hasil kedalaman gempa bumi tersebut sudah baik. Kurang akuratnya pada *fix depth* tersebut dikarenakan oleh beberapa hal yaitu sebaran stasiun yang kurang rapat dan letak gempa bumi yang jauh dari stasiun pencatat. Pada penampang A-A' *cross section* juga dapat terlihat bahwa kebanyakan gempa bumi terletak pada kedalaman kurang lebih 20 kilometer hingga 30 kilometer.



Gambar 4.1 Distribusi Hiposenter BMKG Sebelum Relokasi, dengan *Cross Section* terhadap Bidang *Nodal 1*

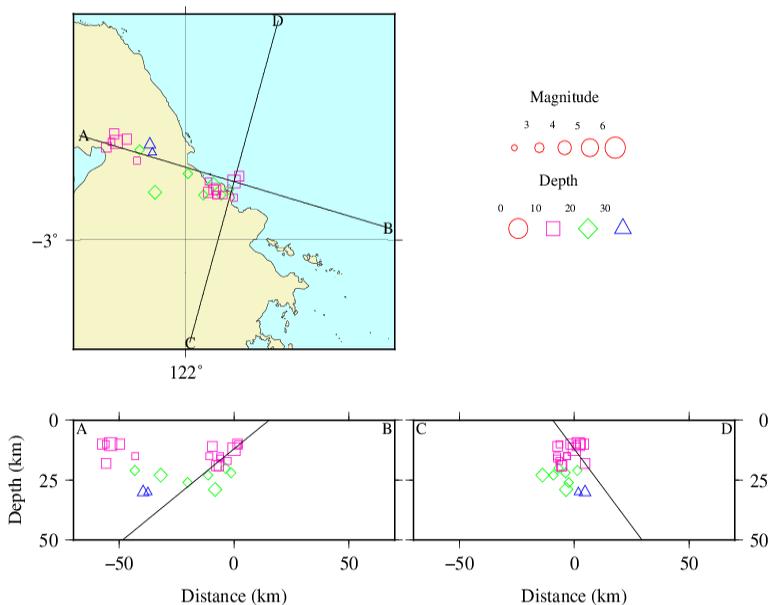
Sedangkan pada **Gambar 4.2** dapat dilihat bahwa distribusi hiposenter gempa bumi BMKG sebelum dilakukan relokasi dengan *cross section* untuk bidang *nodal* kedua. Jika dilihat pada hasil *cross section* pada penampang B-B' menunjukkan terdapat 2 kelompok hiposenter gempa menyebar dan masih ada beberapa hiposenter gempa bumi yang kedalamannya kurang lebih 10 kilometer seperti pada hasil penampang A-A' yang disebut dengan *fixed depth* termasuk pada gempa bumi utamanya. Namun ada banyak juga dari hiposenter gempa bumi kedalamannya 20 hingga 30 kilometer tersebar merata.



Gambar 4.2 Distribusi Hiposenter BMKG Sebelum Relokasi, dengan *Cross Section* terhadap Bidang *Nodal* 2

Dari kedua gambar peta tersebut diatas dapat diketahui juga bahwa sebaran hiposenter gempa bumi tersebut berada pada arah barat laut hingga tenggara yang memanjang dimana sejajar dengan patahan mantano. Sehingga dapat di katakan bahwa gempa bumi yang terjadi pada daerah penelitian ini dipengaruhi oleh aktifitas di patahan mantano. Kemudian keseluruhan sebaran hiposenter dari BMKG ini termasuk kedalam gempa bumi dangkal yaitu berada antara 0 hingga 60 kilometer.

GEMPABUMI SULAWESI, 24 MEI 2017



Gambar 4.3 Distribusi Hiposenter BMKG Sebelum Relokasi Menggunakan MJHD, dengan Penampang Melintang A-B dan C-D

Pada **Gambar 4.3** diatas adalah hasil peta distribusi hiposenter sebelum direlokasi menggunakan MJHD (*Cygwin*), dimana hasilnya sama dengan *plotting* dengan menggunakan GMT dengan penampang A-B pada bidang *nodal* 1 dan penampang C-D pada bidang *nodal* 2. Pada hasil peta ini dapat

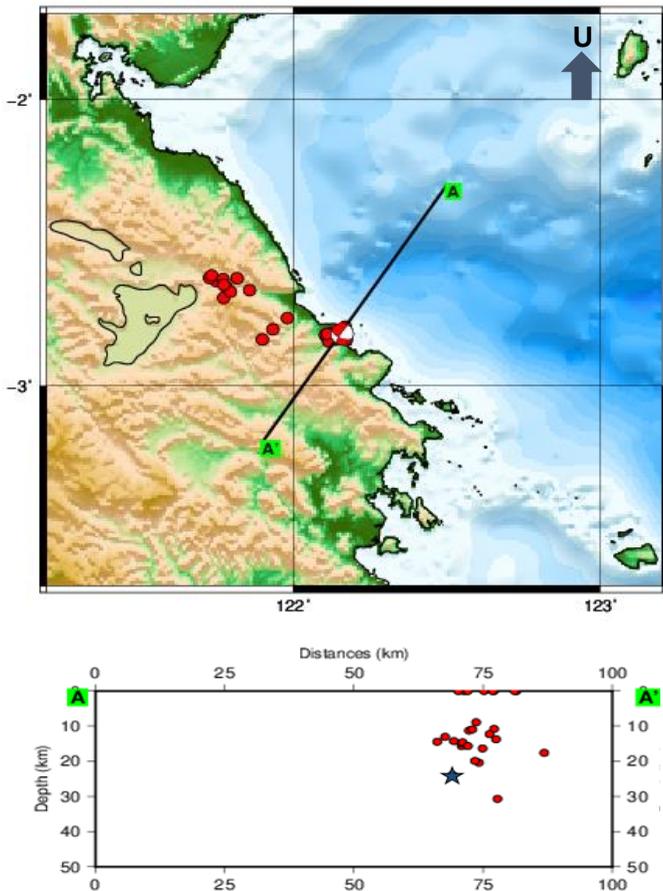
menentukan bidang patahannya berdasarkan pada sebaran kedalaman hiposenter gempa bumi. Pada penampang A-B terlihat bahwa sebaran hiposenter masih acak dan menyebar sehingga tidak dapat di identifikasikan sebagai bidang patahan. Sedangkan pada penampang C-D terlihat bahwa sebaran hiposenter telah terkonsentrasi pada garis dipnya sehingga bisa diasumsikan bahwa penampang C-D sebagai bidang patahan.

4.1.2 Hiposenter Gempa Bumi Sesudah Relokasi

Pada penelitian dengan menggunakan metode MJHD ini terdapat persyaratan yang harus terpenuhi dalam menjalankan program MJHD sehingga dapat diperoleh hasil relokasi yang lebih akurat. Persyaratan tersebut diantaranya adalah menentukan nilai dari *Minimum Number of Earthquake at Each Station* (MEQ) yaitu jumlah minimum gempa bumi dicatat pada sebuah stasiun, serta *Minimum Number of Station at Each Earthquake* (MNST) yaitu jumlah minimum stasiun yang mencatat sebuah gempa bumi. Penentuan nilai MEQ dan MNST ini sangat berpengaruh pada banyak dan sedikitnya data gempa bumi yang akan digunakan dalam relokasi, karena semakin kecil nilai yang diberikan pada MEQ dan MNST maka semakin banyak data gempa bumi dan sebaliknya. Karena, dengan data gempa bumi yang banyak maka hasil yang diperoleh akan semakin akurat. Namun pemberian nilai yang kecil dapat menyebabkan ketidakstabilan karena ada beberapa diantaranya *event* gempa bumi yang dicatat oleh banyak stasiun dan ada juga yang tercatat oleh stasiun dengan jumlah yang sedikit. Oleh karena itu, lebih baik jika seluruh gempa bumi yang direlokasi tersebut dicatat pada stasiun yang sama.

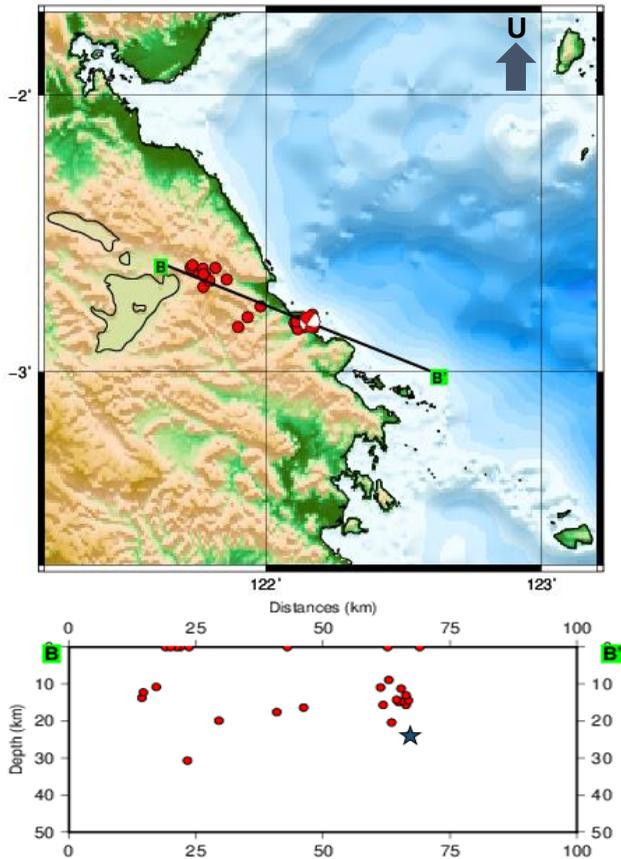
Pada penelitian ini penentuan nilai MEQ dan MNST di tentukan dengan melihat jumlah fase terkecil di setiap *event* gempa bumi, dengan menentukan nilai MEQ dan MNST adalah 10. Jika MEQ ditentukan bernilai 10 berarti satu stasiun pencatat harus mencatat gempa bumi minimal 10 buah. Sedangkan MNST juga ditentukan bernilai 10 maka berarti satu buah gempa bumi minimal harus dicatat oleh 10 stasiun pancatat. Nilai MEQ dan MNST tersebut digunakan untuk memperoleh nilai *Number of Station* (NST), yangmana didapatkan nilai NST adalah 26.

Proses dari relokasi ini dilakukan dengan iterasi berulang-ulang hingga diperoleh nilai residu O-C minimum atau bisa di sebut dengan nilai *Root Mean Square* (RMS). Semakin kecil nilai residu O-C maka semakin baik hasilnya dan dikatakan akurat. Pada penelitian ini iterasi dilakukan sebanyak 6 kali dengan mengubah nilai dari *max-res* atau residu maksimalnya disetiap *running* MJHD. Nilai *max-res*nya diantaranya: 100, 50, 15, 7, 2 dan 2. Prinsip iterasi itu sendiri adalah hasil dari iterasi pertama akan digunakan untuk iterasi kedua dan seterusnya hingga iterasi terakhir.



Gambar 4.4 Distribusi Hiposenter BMKG Setelah Relokasi, dengan *Cross Section* terhadap Bidang *Nodal 1*

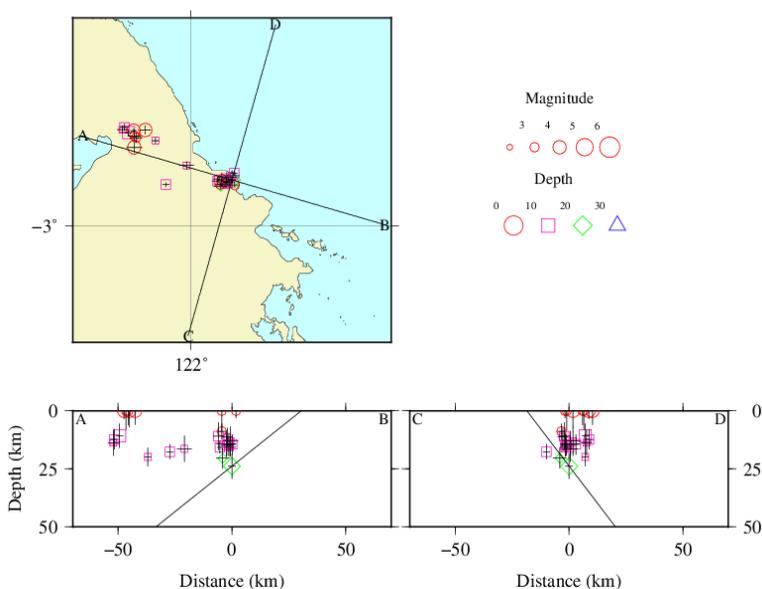
Berdasarkan hasil peta pada **Gambar 4.4** menunjukkan hasil dari setelah proses relokasi. Dilihat dari letak dan kedalaman hiposenter sebelum dan sesudah relokasi terdapat perbedaan yaitu terutama pada letak hiposenter dari gempa bumi utama yang diawal sebelum direlokasi berada pada kedalaman 12 kilometer namun saat sesudah direlokasi kedalaman hiposenternya menjadi 23.9 kilometer. Hal itu juga terjadi perbaikan letak hiposenternya pada gempa bumi susulannya. Hasil ini dapat dinilai lebih akurat dari hasil sebelum relokasi yang dihasilkan oleh operator.



Gambar 4.5 Distribusi Hiposenter BMKG Setelah Relokasi, dengan *Cross Section* terhadap Bidang *Nodal 2*

Pada **Gambar 4.5** juga menghasilkan peta hasil setelah dilakukan proses relokasi yang membedakan hanya terhadap bidang *nodal*nya saja, seperti yang dijelaskan sebelumnya pada hasil relokasi terhadap bidang *nodal* 1 bahwa terdapat perbaikan dari letak hiposenter pada seluruh gempa bumi baik gempa bumi utama dan gempa bumi susulannya. Dengan menganalisa hasil relokasi gempa bumi yang didapat dari processing dengan menggunakan metode MJHD ini, dapat dikatakan bahwa parameter gempa bumi yang direlokasi mengalami perbaikan dilihat dari lokasi dan kedalaman hiposenternya, secara lengkap dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

GEMPABUMI SULAWESI, 24 MEI 2017



Gambar 4.6 Distribusi Hiposenter BMKG Setelah Relokasi Menggunakan MJHD, dengan Penampang Melintang A-B dan C-D

Pada **Gambar 4.6** tersebut adalah peta distribusi hiposenter yang sudah direlokasi dengan menggunakan MJHD (*Cygwin*). Tanda *plus* tersebut menunjukkan *standard error* untuk hiposenter, seperti yang dilihat bahwa letak hiposenter

dan kedalamannya telah terkoreksi. Pada hasil relokasi ini penampang C-D memperlihatkan hasil yang baik untuk mengidentifikasi bidang patahan yang terjadi di lapangan seperti yang sudah terlihat pada hasil peta sebelum direlokasi, dimana sebaran kedalaman hiposenternya terpusat pada garis *dip*-nya. Kosentrasi dari sebaran hiposenter dari gempa bumi susulan digunakan untuk mengidentifikasi bidang patahan terutama pada daerah penelitian ini, dengan melihat hasil dari penampang C-D pada bidang *nodal* 1 yaitu *strike* 116°, *dip* 56° dan *slip* -11° dapat dilihat pada **Tabel 3.1**. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada penampang C-D adalah patahan yang terjadi di lapangan.

Berdasarkan pada **Tabel 4.2** menunjukkan bahwa hasil setelah relokasi dengan menggunakan metode MJHD didapatkan parameter-parameter gempa bumi yang telah mengalami perbaikan diantaranya adalah *origin time* (tanggal, jam, menit, dan detik), lokasi hiposenter (*longitude* dan *latitude*), kedalaman atau *depth*, koreksi waktu (dt), koreksi *longitude* (dy), koreksi *latitude* (dx), koreksi kedalaman (dz), dan *fase*. Dimana salah satunya adalah untuk gempa bumi utama hasil sebelum relokasi menunjukkan lokasi hiposenter berada pada *longitude* (y) 122.19 derajat, *latitude* (x) 2.78 derajat, dan kedalamannya 12 km, kemudian setelah direlokasi berubah menjadi *longitude* (y) 122.1614 derajat, *latitude* (x) - 2.8211 derajat dan kedalamannya 23.9 km, dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Perbandingan Parameter Gempa Bumi Utama

Instansi	<i>Origin Time</i>	<i>Longitude</i> (°)	<i>Latitude</i> (°)	Kedalaman (km)
BMKG sebelum relokasi	09:10:15.50	122.19	2.78	12
MJHD setelah relokasi	09:10:08.19	122.1614	2.8211	23.9

Tabel 4.2 Parameter-Parameter Gempa Bumi Hasil Relokasi

No	Origin Time	dt	Longitude	dy	Latitude	dx	Depth (km)	dz	Fase	STD
1	17 524091008.19	0.55	122.1614	0.0146	-2.8211	0.0099	23.90	5.47	22	0.524
2	17 524092033.54	2.08	121.9350	0.0626	-2.8040	0.0295	0.00	16.01	12	0.994
3	17 524103527.12	1.10	122.1210	0.0334	-2.8180	0.0262	0.00	8.46	12	0.650
4	17 524114603.82	0.54	122.1501	0.0229	-2.8325	0.0132	15.68	4.05	16	0.483
5	17 524125108.36	0.58	122.1380	0.0208	-2.8400	0.0117	11.27	4.01	16	0.568
6	17 524131855.71	0.80	122.1047	0.0217	-2.8247	0.0145	10.93	5.99	22	0.794
7	17 524135423.71	0.62	122.1393	0.0224	-2.8247	0.0130	14.86	4.49	23	0.705
8	17 525190310.02	0.45	122.1730	0.0166	-2.8410	0.0100	0.00	3.13	18	0.463
9	17 525221933.56	0.49	122.1146	0.0162	-2.8394	0.0104	8.91	3.42	19	0.523
10	17 525232546.18	0.66	122.1457	0.0198	-2.8315	0.0131	14.61	4.84	23	0.716

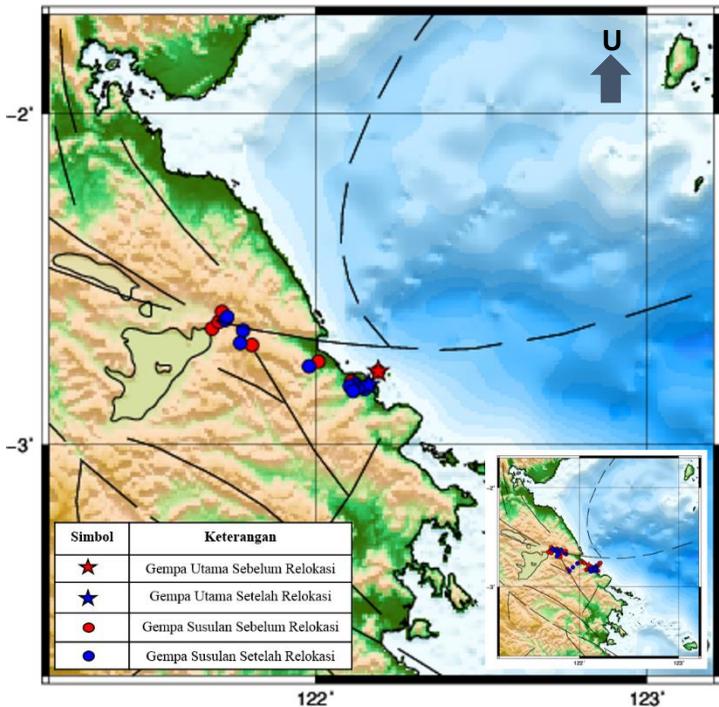
11	17 526105858.37	0.53	122.1169	0.0272	-2.8468	0.0107	20.40	4.36	12	0.380
12	17 526190454.35	0.84	121.9819	0.0293	-2.7645	0.0162	16.36	5.64	14	0.786
13	17 527164456.93	0.46	121.9007	0.0138	-2.8394	0.0093	17.62	3.26	24	0.529
14	17 528202334.14	0.56	122.1698	0.0147	-2.7946	0.0118	14.45	4.40	19	0.493
15	17 529003227.54	0.86	122.1411	0.0388	-2.8105	0.0198	14.27	5.63	14	0.800
16	17 601031645.18	0.37	122.1116	0.0098	-2.8200	0.0072	15.66	2.75	20	0.342
17	17 617142350.30	0.65	121.7521	0.0150	-2.6356	0.0128	10.80	5.22	20	0.509
18	17 617143737.36	0.44	121.7729	0.0129	-2.6283	0.0085	0.00	3.37	13	0.330
19	17 617154003.94	1.05	121.7750	0.0314	-2.6940	0.0212	0.00	7.22	16	0.998
20	17 617160441.10	0.72	121.7293	0.0217	-2.6244	0.0154	13.75	5.54	18	0.642
21	17 617165720.98	0.58	121.7357	0.0165	-2.6151	0.0133	12.29	4.38	23	0.607
22	17 618180124.94	0.83	121.7830	0.0245	-2.6560	0.0185	0.00	6.17	20	0.820
23	17 618211336.01	1.15	121.7970	0.0297	-2.6725	0.0231	30.72	12.00	17	0.891

24	17 622110906.29	0.54	121.8593	0.0138	-2.6672	0.0117	19.93	4.02	22	0.536
25	17 622113459.67	1.03	121.7750	0.0263	-2.6480	0.0213	0.00	8.12	17	0.811
26	17 705090209.30	0.80	121.8190	0.0213	-2.6250	0.0179	0.00	6.11	21	0.770
27	17 705181356.52	0.82	122.1610	0.0292	-2.8053	0.0222	13.07	6.34	15	0.723

4.2 Plotting Episenter Gempa

Pada hasil sebelum dan sesudah relokasi dari sebaran episenter gempa bumi dilakukan *plotting* 10 data gempa bumi dari keseluruhan gempa pada daerah penelitian.

Sebaran episenter gempa sebelum relokasi yang di gambarkan dengan titik merah sedangkan untuk sebaran episenter gempa sesudah relokasi yang mengalami perbaikan dari letak atau koordinatnya dengan digambarkan oleh titik biru. Lalu, bentuk bintang warna merah menunjukkan *event* gempa bumi utama yang sebelum direlokasi sedangkan bentuk bintang warna biru menunjukkan *event* gempa bumi utama setelah di relokasi, dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



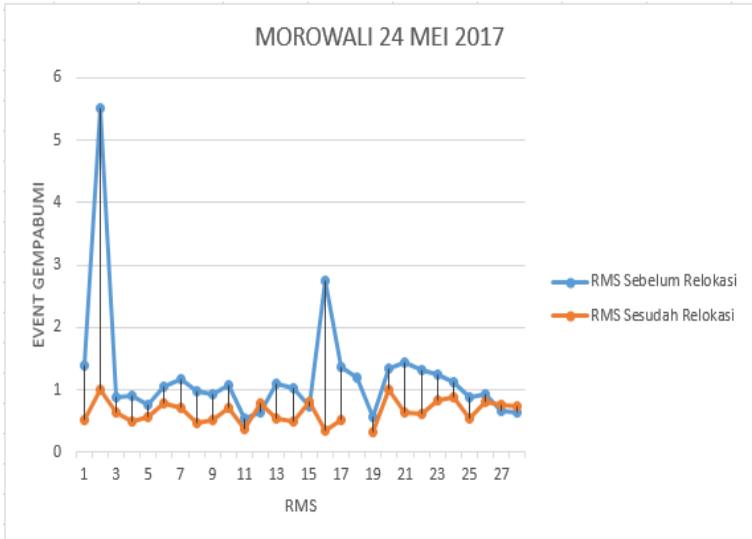
Gambar 4.7 Hasil Letak Sebaran Episenter Gempa Bumi Sebelum dan Sesudah Proses Relokasi

Berdasarkan hasil *plotting* seluruh *event* gempa bumi tersebut dapat dikatakan bahwa sebaran episenter gempa terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu pada arah barat laut beberapa sebaran episenter gempanya tepat di sekitar patahan Matano sedangkan pada arah tenggara beberapa sebaran episenter gempanya tidak berhimpit atau bisa dikatakan tidak tepat pada dari patahan Matano. Jika dilihat dari sebaran episenter gempa susulan pada arah tenggara tersebut berada pada kemenerusan dari patahan Matano atau pada daerah penelitian tersebut patahan kecil aktif yang lain, namun patahan tersebut belum terpetakan dikarenakan data patahan tersebut adalah hasil dari citra satelit yang belum *terupdate*.

4.3 Histogram Hasil RMS

RMS (*Root Mean Square*) dalam penelitian ini merupakan selisih antara waktu tempuh (*travel time*) kalkulasi dengan *travel time* observasi. Nilai RMS ini menunjukkan tingkat ketelitian data gempa yang digunakan, dimana memiliki nilai kurang dari 1 (< 1) untuk mendapat hasil yang akurat dan baik. Karena semakin kecil nilai RMS nya maka hasilnya akan mendekati letak hiposenter sebenarnya.

Hasil perbaikan yang dihasilkan setelah proses relokasi juga dapat ditunjukkan pada histogram berupa grafik dengan perbandingan nilai RMS berdasarkan *event* gempa yang terjadi, dimana garis biru menunjukkan RMS data gempa bumi BMKG dan garis *orange* menunjukkan RMS data gempa bumi hasil relokasi MJHD, dapat dilihat pada **Gambar 4.8**. Pada histogram tersebut terdapat satu data hilang pada saat setelah relokasi, data gempa tersebut adalah data ke-18. Hal itu dikarenakan saat proses iterasi pada MJHD *event* gempa bumi tersebut tidak dimasukkan dimana memiliki nilai *error* yang sangat besar meskipun berkali-kali di lakukan iterasi berulang-ulang dan berpengaruh pada hasilnya. Jadi pada hasil setelah relokasi tersebut berkurang satu *event* gempa buminya.



Gambar 4.8 Perbandingan *Root Mean Square* (RMS) Data Gempa Bumi Sebelum dan Sesudah Proses Relokasi

Dari histogram tersebut dapat di analisa bahwa data gempa bumi sebelum direlokasi memiliki nilai RMS yang kurang baik, dapat dilihat bahwa ada beberapa data masih memiliki nilai $RMS > 1$, dimana terdapat dua data *event* gempa yang memiliki nilai RMS yang sangat signifikan dibandingkan data gempa susulan lainnya yaitu pada *event* ke-2 dan *event* ke-16 yang memiliki nilai RMS 5,5 detik dan 2,8 detik. Dari hasil RMS keseluruhan sebelum di relokasi di dapatkan nilai rata-rata RMS 1,22 detik. Sedangkan untuk data gempa bumi setelah proses relokasi sebagian besar data mengalami perbaikan yaitu dengan nilai $RMS 1 < e \leq 1$ dengan rata-rata nilai RMS 0,64 detik. Perbaikan nilai RMS yang signifikan terjadi pada 2 data yaitu data ke-2 dan data ke-16 dengan diperoleh nya nilai RMS setelah relokasi 1 detik dan 0,3 detik. Berdasarkan perbandingan nilai RMS dari sebelum relokasi dengan sesudah relokasi dapat dikatakan bahwa hasil sesudah relokasi lebih akurat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)