



## REKAMAN STASIUN GPS SEBAGAI PENDETEKSI PERGERAKAN TEKTONIK, STUDI KASUS: BENCANA TSUNAMI ACEH 26 DESEMBER 2004

Fajar Rizki Widiatmoko<sup>[1]</sup>, Akhmad Zamroni<sup>[2]</sup>,  
Muhammad Abdurrozak Siamashari<sup>[3]</sup>, Afifah Nurul Maulina<sup>[4]</sup>, Budiarto<sup>[1]</sup>

<sup>[1]</sup>Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS)

Jl. Arief Rachman Hakim, No. 100, Surabaya

<sup>[2]</sup>Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY)

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta

<sup>[3]</sup>Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED)

Jl. Prof. Dr. Bunyamin, Purwokerto

<sup>[4]</sup>Universitas Brawijaya (UB)

Jl Veteran, Malang

e-mail: widiatmoko@itats.ac.id

### **ABSTRACT**

Geographic Position System (GPS) is an electronic instrument that is used to determine the position of coordinates, with the help of triangulation of satellite signals it can be accurately determined the coordinates of the position. An embedded GPS station is built to track changes in station positions over a period of time. Changes in position over a period of time are calculated using the GPS kinematic method and summed up simply using the GPS velocity method. International GNSS Service (IGS) is a global GPS data provider service with time-per-second densities and millimeter accuracy. During the Aceh tsunami tragedy 26 December 2004 00.58'.53" UTC there were 3 GPS stations, each located on a different tectonic plate, the JOGJ station located in Yogyakarta representing the Micro-Sunda plate, the ISSC station located in India representing the Indian plate, and the DGAR station located in Maldives represents the Eurasian plate as a stable site. The results of data analysis showed that there were 4 phases of tectonic movements during the Aceh tsunami tragedy, anomalous movement phases, pressuring phases, release phases, and stabilization phases. The tectonism study using the GPS station data approach can be used as a parameter to detect plate movement data, especially a great hope for the development of earthquake detection studies.

*Keywords:* GNSS, GPS Kinematic, GPS Velocity, Plate movement, Tsunami trigger

### **ABSTRAK**

*Geographic Position System (GPS)* adalah suatu instrumen elektronik yang digunakan untuk mengetahui posisi kordinat, dengan bantuan triangulasi sinyal satelit maka dapat ditentukan posisi kordinat secara akurat. Stasiun GPS tertanam dibangun untuk mengetahui perubahan posisi stasiun dalam kurun waktu tertentu. Perubahan posisi dalam kurun waktu tertentu dihitung menggunakan metode *GPS kinematic* dan disimpulkan secara sederhana menggunakan metode *GPS velocity*. *International GNSS Service (IGS)* adalah layanan penyedia data GPS seluruh dunia dengan kerapatan waktu per-detik dan akurasi dalam milimeter. Pada tragedi bencana tsunami Aceh 26 Desember 2004 00.58'.53" UTC terdapat 3 stasiun GPS yang masing-masing berlokasi pada lempeng tektonik yang berbeda, stasiun JOGJ berlokasi di Yogyakarta mewakili lempeng Micro-Sunda, stasiun ISSC berlokasi di India mewakili lempeng Hindia - Australia, dan stasiun DGAR berlokasi di Maldives mewakili lempeng Eurasia sebagai stable site. Hasil analisa data menunjukkan terdapat 4 fase gerakan tektonik selama tragedi tsunami Aceh, fase gerakan anomali, fase penekanan, fase pelepasan dari tekanan, dan fase penstabilan. Studi tektonisme menggunakan pendekatan data stasiun GPS bisa dijadikan parameter data pendeteksi pergerakan lempeng, terutama sebuah harapan besar pengembangan studi pendeteksi gempa bumi.

*Kata kunci:* GNSS, GPS Kinematik, GPS Velocity, Pergerakan lempeng, Pemicu Tsunami

### **PENDAHULUAN**

Penggunaan instrument GPS pada umumnya digunakan untuk berbagai kebutuhan sistem navigasi, biasanya instrument GPS digunakan pada unit yang bergerak dengan akurasi dalam satuan meter, berbeda dengan stasiun GPS sebagai unit yang ditanam pada tanah secara fixed.

Tragedi Tsunami Aceh 26 Desember 2004 merupakan bencana yang diakibatkan oleh gelombang air laut yang menghantam wilayah pemukiman. Gelombang air laut dipicu oleh adanya gempa dengan magnitude 9.1 Mw yang bersumber dari batas lempeng Hindia - Australia dengan lempeng Eurasia. Kemunculan gempa terjadi karena pergeseran lempeng tektonik.

Pergerakan lempeng tektonik akan terkur oleh posisi stasiun GPS yang berubah dalam waktu tertentu. Pergeseran lempeng tektonik difokuskan untuk mempelajari pola pergerakan lempeng pada saat sebelum terjadi gempa, saat terjadi gempa, dan setelah gempa. Pengamatan dilakukan pada stasiun GPS yang berada di lempeng Hindia - Australia dan Lempeng Eurasia.

### LOKASI TEKTONIK

Tragedi Tsunami Aceh terjadi karena tumbukan lempeng tektonik Hindia - Australia dengan lempeng Eurasia (Darman dan Sidi, 2000). Lempeng Hindia - Australia bergerak ke utara dan bertumbukan sebagian dengan lempeng Eurasia sehingga menghasilkan efek gerak rotasi clockwise pada sisi timur lempeng Eurasia yang tidak mengalami tumbukan, efek gerak rotasi clockwise menghasilkan pola subduksi baru pada sisi tenggara lempeng Eurasia sehingga menjadi busur gunungapi di sepanjang pulau Sumatera – Jawa – Bali – Nusa Tenggara – Maluku – Sulawesi Utara - Sangihe pada umur Miosen akhir, Secara normal pergeseran lempeng Hindia memiliki kecepatan 6 cm/tahun (Atmadja, et al., 1998). Efek gerak rotasi clockwise pada sisi tenggara lempeng Eurasia mengakibatkan pemisahan menjadi lempeng Micro-Sunda (Bird, 2003).

### METODE

Pada dasarnya GPS menerima sinyal waktu dari setiap satelit navigasi yang beredar, dari waktu dan elevasi satelit navigasi dikonversi menjadi jarak satelit terhadap instrument GPS, sehingga setidaknya dari 3 satelit navigasi dapat diketahui posisi GPS dalam satuan koordinat kartesian (Schenewerk, 2003).

Data stasiun GPS diunduh melalui situs IGS, Data stasiun GPS mempunyai kerapatan data per 1 detik dengan satuan posisi millimeter. Data tersebut diproses menggunakan program GLOBK dan GAMIT (Herring, et al, 2015). Hasil proses dari GLOBK dan GAMIT diplot pada grafik menggunakan software General Mapping Tool (GMT) (Wessel, et al, 2015), pengeplotan data pada GMT menggunakan program sh\_yoho (Chang, 2018).

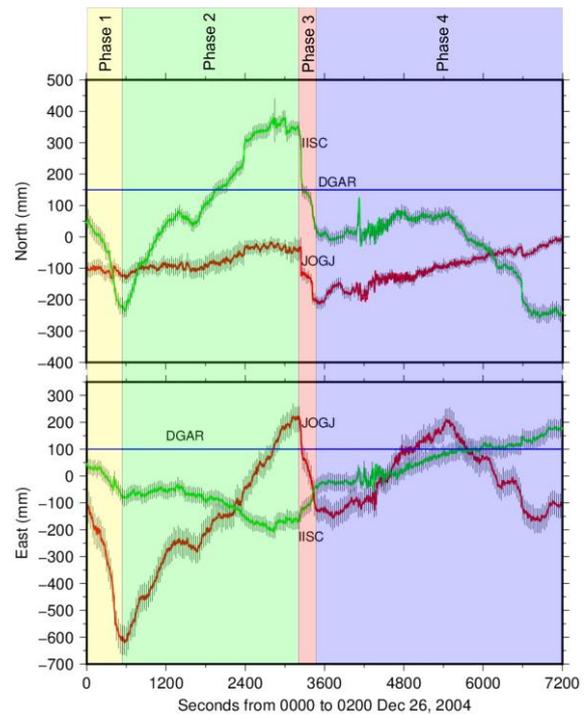
Stasiun GPS melakukan pengukuran posisinya setiap detik dengan akurasi dalam satuan millimeter. Perbedaan posisi dari setiap waktu dapat dihitung jarak perpindahan posisinya yang disebut sebagai *GPS Kinematic* (Chen, 1998). Perpindahan posisi stasiun GPS dalam satuan waktu diartikan sebagai kecepatan yang disebut sebagai *GPS Velocity* (Miller, et al., 2001).

*GPS Kinematic* dan *GPS Velocity* dapat digunakan untuk mengartikan pergerakan masing-masing lempeng sebagai dasar pertimbangan untuk

interpretasi proses yang terjadi. Setiap lempeng yang bergerak menghasilkan dampak tertentu.

### HASIL

Hasil secara ringkas ditunjukkan dengan grafik posisi setiap stasiun GPS dalam grafik time series (Gambar 1). Berdasarkan perpindahan masing-masing stasiun GPS, diperkirakan terdapat 4 pembagian pola pergerakan lempeng, yaitu dari 00.00 – 00.10 UTC sebagai fase 1, 00.10 – 00.56 UTC sebagai fase ke 2, 00.56 – 00.58 sebagai fase ke 3, dan 00.58 – 02.00 sebagai fase ke 4



Gambar 1: Grafik rekaman stasiun JOGJ (garis merah), stasiun IISC (garis hijau), stasiun DGAR (garis biru), beserta pembagian fase pergerakan setiap stasiun GPS.

Fase ke 1 ditandai dengan pergerakan lempeng Micro-sunda (diwakili oleh stasiun JOGJ) ke arah barat sejauh 510.6 mm dengan kecepatan 51 mm/min berarah N 268<sup>0</sup> E, sementara lempeng Hindia (diwakili oleh stasiun IISC) ke arah barat daya sejauh 302.2 mm dengan kecepatan 30 mm/min berarah N 204<sup>0</sup> E (Tabel 1).



Tabel 1: Data pergerakan, arah, dan kecepatan stasiun GPS pada pukul 00.00 – 00.10 UTC

1 <sup>st</sup> Phase 00.00 – 00.10 (Anomaly Phase)			
JOGJ		ISSC	
East	510 mm	West	125 mm
South	75 mm	South	275 mm
Dir	268° NE	Dir	204° NE
Length	510.6 mm	Length	302.2 mm
Velocity	51 mm/min	Velocity	30 mm/min
Vector ← 268° NE		Vector ↙ 204° NE	

Fase ke 2 ditandai dengan pergerakan lempeng Micro-sunda (diwakili oleh stasiun JOGJ) ke arah timur laut sejauh 848 mm dengan kecepatan 18.43 mm/min berarah N 82° E, sementara lempeng Hindia (diwakili oleh stasiun ISSC) ke arah barat laut sejauh 616 mm dengan kecepatan 13.39 mm/min berarah N 344° E (Tabel 2).

Tabel 2: Data pergerakan, arah, dan kecepatan stasiun GPS pada pukul 00.10 – 00.56 UTC

2 <sup>nd</sup> Phase 00.10-00.56 (Pressuring Phase)			
JOGJ		ISSC	
East	840 mm	West	160 mm
North	115 mm	North	595 mm
Dir	82° NE	Dir	344° NE
Length	848 mm	Length	616 mm
Velocity	18.43 mm/min	Velocity	13.39 mm/min
Vector → 82° NE		Vector ↖ 344° NE	

Fase ke 3 ditandai dengan pergerakan lempeng Micro-sunda (diwakili oleh stasiun JOGJ) ke arah barat daya sejauh 420 mm dengan kecepatan 210 mm/min berarah N 205° E, sementara lempeng Hindia (diwakili oleh stasiun ISSC) ke arah tenggara sejauh 336 mm dengan kecepatan 168 mm/min berarah N 157° E (Tabel 2).

Tabel 3: Data pergerakan, arah, dan kecepatan stasiun GPS pada pukul 00.56 – 00.58 UTC

3 <sup>rd</sup> Phase 00.56 – 00.58 (Shocking Phase)			
JOGJ		ISSC	
West	380 mm	East	130 mm
South	180 mm	South	310 mm
Dir	205° NE	Dir	157° NE
Length	420 mm	Length	336 mm
Velocity	210 mm/min	Velocity	168 mm/min
Vector ↘ 205° NE		Vector ↘ 157° NE	

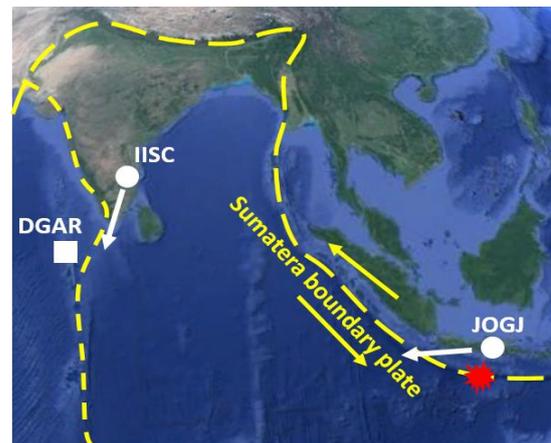
Fase ke 4 ditandai dengan pergerakan lempeng Micro-sunda (diwakili oleh stasiun JOGJ) ke arah barat daya sejauh 220 mm dengan kecepatan 3.54 mm/min berarah N 0° E, sementara lempeng Hindia (diwakili oleh stasiun ISSC) ke arah tenggara sejauh 379 mm dengan kecepatan 6.11 mm/min berarah N 43° E (Tabel 2).

Tabel 4: Data pergerakan, arah, dan kecepatan stasiun GPS pada pukul 00.58 – 02.00 UTC

4 <sup>th</sup> Phase 00.58 – 02.00 (Stabilizing Phase)			
JOGJ		ISSC	
East	370 mm	East	225 mm
North	220 mm	South	305 mm
Dir	0° NE	Dir	143° NE
Length	220 mm	Length	379 mm
Velocity	3.54 mm/min	Velocity	6.11 mm/min
Vector ↑ 0° NE		Vector ↘ 43° NE	

### PEMBAHASAN

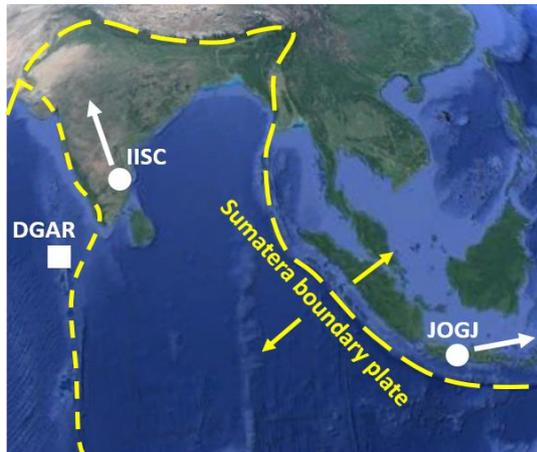
Pada fase pertama (*Gambar 2*) pergerakan suatu stasiun GPS menunjukkan pergerakan lempeng secara tidak normal, dimana stasiun ISSC bergerak ke selatan. Secara umum lempeng Hindia bergerak ke arah utara dengan kecepatan 8 – 5 cm/yr (Atmadja, et al, 1998). Perubahan arah pergerakan mengakibatkan perubahan pola deformasi dan memungkinkan menghasilkan gempa (Shiono, 1977). Pada fase pertama dirasakan gempa di selatan pulau Jawa.



Gambar 2: Gambar pergerakan stasiun GPS pada fase pertama (00.00 – 00.10 UTC).

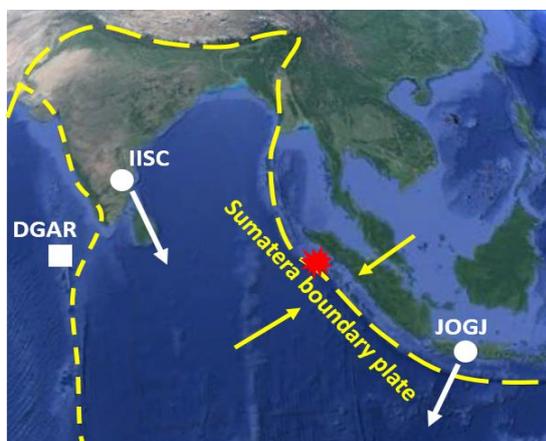
Pada fase kedua (*Gambar 3*) pergerakan suatu stasiun GPS menunjukkan pergerakan lempeng secara tidak normal, dimana stasiun JOGJ bergerak ke Timur. Secara umum lempeng Eurasia bergerak ke arah barat daya sebagai proses efek pergerakan rotasi *clockwise* dengan kecepatan 6 cm/yr (Atmadja, et al, 1998), proses tersebut juga menyebabkan terbentuk lempeng Micro-Sunda yang berpisah dari lempeng Eurasia (Bird, 2003).

Perubahan arah pergerakan mengakibatkan perubahan pola deformasi dan memungkinkan menghasilkan gempa (Shiono, 1977).



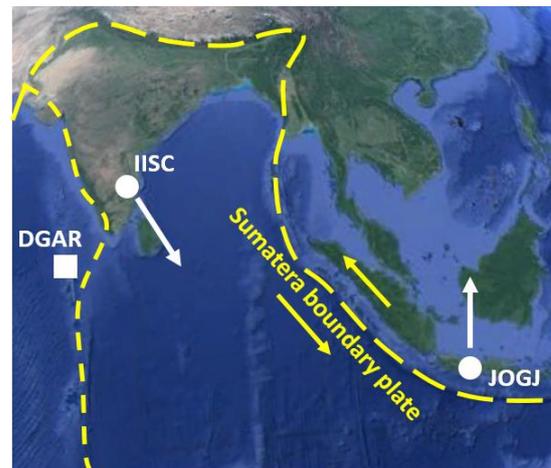
Gambar 3: Gambar pergerakan stasiun GPS pada fase kedua (00.10 – 00.56 UTC).

Pada fase ketiga (Gambar 4) pergerakan kedua stasiun secara drastis mengalami pergerakan ke arah selatan, dalam fase ini terjadi gempa dengan magnitudo 9.1 Mw pada waktu 00.58.53 UTC. Stasiun JOGJ bergerak cepat ke arah barat daya 210 mm/min, dan stasiun IISC bergerak cepat ke arah tenggara, kedua pergerakan tersebut menyebabkan tumbukan. Secara umum lempeng Hindia bergerak ke arah utara dengan kecepatan 8 – 5 cm/yr, lempeng Eurasia bergerak ke arah barat daya sebagai proses efek pergerakan rotasi *clockwise* dengan kecepatan 6 cm/yr (Atmadja, et al, 1998), proses tersebut juga menyebabkan terbentuk lempeng Micro-Sunda yang berpisahkan dari lempeng Eurasia (Bird, 2003). Proses tumbukan kedua lempeng mengakibatkan deformasi, sebelum mengalami *brittle* setiap batuan mempunyai batas deformasi *ductile* (Buck, et al. 1988). Deformasi lempeng yang telah melampaui batas mengakibatkan terjadinya *elastic rebound*, yaitu pergerakan arah sebaliknya setelah deformasi arah tertentu sehingga gempa bumi dapat terbentuk (Shiono, 1977).



Gambar 4: Gambar pergerakan stasiun GPS pada fase ketiga (00.56 – 00.58 UTC).

Pada fase keempat (Gambar 5) pergerakan kedua stasiun GPS menunjukkan pergerakan lempeng secara tidak normal, dimana stasiun JOGJ bergerak ke utara, dan stasiun IISC bergerak ke arah tenggara. Secara umum lempeng Eurasia bergerak ke arah barat daya sebagai proses efek pergerakan rotasi *clockwise* dengan kecepatan 6 cm/yr (Atmadja, et al, 1998), proses tersebut juga menyebabkan terbentuk lempeng Micro-Sunda yang berpisahkan dari lempeng Eurasia (Bird, 2003). Perubahan arah pergerakan mengakibatkan perubahan pola deformasi dan memungkinkan menghasilkan gempa (Shiono, 1977).



Gambar 5: Gambar pergerakan stasiun GPS pada fase ketiga (00.58 – 02.00 UTC).

Secara interpretatif terjadinya gelombang tsunami karena proses bukaan batas lempeng pada fase kedua sebagai proses perbesaran volume dasar laut (Gambar 3), kemudian secara drastis terjadi penyempitan batas lempeng yang menyebabkan proses penyempitan volume dasar laut (Gambar 4). Perbesaran volume dasar laut memungkinkan terjadi surutnya air laut, kemudian saat terjadi penyempitan dasar laut mengakibatkan pasangannya air laut. Penyempitan dasar laut secara cepat mengakibatkan terjadinya tsunami.

## KESIMPULAN

Gerakan lempeng dapat terwakili pergerakannya dengan menggunakan pendekatan studi stasiun GPS dengan menterjemahkannya menggunakan metode *GPS kinematic* dan *GPS velocity*. Bencana tsunami adalah salah satu contoh data yang mewakili pendekatan tersebut. Bagaimanapun proses monitoring kegempaan yang berlangsung harus tetap menggunakan seismometer, data stasiun GPS merupakan data pelengkap kegempaan berupa data vektor. Dengan mengkolaborasi berbagai data monitoring kegempaan diharapkan menjadi sebuah temuan yang berguna untuk memprediksi gempa beserta mitigasi kebencanaan.



## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada seluruh kolega yang mendukung penelitian ini. Terkhusus untuk seluruh pihak yang berpartisipasi dalam kelas *Special Topic of GPS and Earth Surface Processes (NRES54150)* di *National Dong Hwa University*.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Atmadja, R. S., Suparka, S., Abdullah, C., and Noeradi, D. (1998). Magmatism in western Indonesia, the trapping of the Sumba Block and the gateways to the east of Sundaland. *Journal of Asian Earth Sciences*, 16(1): 1-12.
- Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *American Geophysical Union*, 4(3): 1027.
- Buck, W. R., Martinez, F., Steckler, M. S., and Cochran, J. R. (1988), "Thermal consequences of lithospheric extension: pure and simple," *Tectonics*, 7(2), 213-234.
- Chang, Y. H. (2018). NRES\_54150 Class Lecture: Special Topic of GPS and Earth Surface Processes, Topic: sh\_yoho equation, GPS Kinematic, and GPS Velocity. National Dong Hwa University
- Chen, G. (1998). GPS Kinematic Positioning for the Airborne Laser Altimetry at Long Valley, California. Dissertation of the Department of Earth, Atmospheric, and Planetary - Massachusetts Institute of Technology.
- Darman, H. and Sidi, F. H. (2000). An outline of geology of Indonesia. Indonesian Association of Geologists. Jakarta.
- Herring, T. A., R. W. King, M. A. Floyd, and S. C. Mc-Clusky (2015). Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.6, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Miller, S. L., Youngberg, B., Millie, A., Schweizer, P., Gerdes, J. C. (2001). Calculating Longitudinal Wheel Slip and Tire Parameters using GPS Velocity. Proceedings of the American Control Conference, Arlington, VA June 25-27, 2001:1800-1805.
- Schenewerk, M. (2003). A brief review of basic GPS orbit interpolation strategies. *GPS Solution*, 6:265-267.
- Shiono, K. (1977). Focal Mechanisms of Major Earthquakes in Southwest Japan and Their Tectonic Significance. *Journal of Physics and Earth*, 25(1): 1-26.
- Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. F. Luis, and F. Wobbe (2013). Generic Mapping Tools: Improved version released, *Eos Trans.AGU*94,409–410.