

# Sistem Akuisisi Citra Stereo Untuk Mengukur Gelombang Laut Teluk Pantai Ngrehenan Yogyakarta

Nyoman Jelun

Fakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa, Yogyakarta  
e-mail: nym\_jelun@yahoo.co.id

## Abstrak

*Dewasa ini, pengukuran gelombang laut dilakukan dengan alat-alat seperti tide gauge, wavehunter, dan waverider bouy. Disamping harganya yang relatif mahal, kelemahan alat-alat ukur gelombang laut ini adalah mengoperasikannya yang rumit dan kurang aman, karena perangkat utamanya diletakkan dilaut sehingga rentan terbawa arus gelombang atau terseret perahu nelayan. Oleh karena itu, dikembangkan suatu sistem akuisisi citra stereo (SACiS) berbasis fotogrametri terestris yang dapat digunakan untuk mengukur gelombang laut. SACiS memiliki beberapa keuntungan, yakni harganya yang murah relatif terhadap alat-alat ukur gelombang laut yang sudah komersial, perawatannya mudah karena perangkat utama SACiS yakni kamera diletakkan di daratan pantai, dan pengukuran gelombang laut dapat dilakukan secara real time. Uji laboratorium SACiS menunjukkan akurasi SACiS relatif tinggi karena simpangannya kurang dari 5% relatif terhadap hasil pengukuran dengan probemeter. Selanjutnya, SACiS digunakan untuk mengukur gelombang laut in-situ di teluk pantai Ngrehenan Gunung Kidul Yogyakarta. Hasil pengukurannya cukup valid dimana karakter gelombang laut teluk pantai Ngrehenan sangat kompleks. Kompleksitas itu menunjukkan bahwa gelombang di teluk adalah campuran gelombang yang datang dari laut lepas dan gelombang pantulan dari tebing di kiri dan di kanan teluk.*

**Kata kunci:** gelombang laut, citra stereo, SACiS, probemeter

## Abstract

*Nowdays, the sea wave is usually measured by devices such as tide gauge, wavehunter, and waverider bouy. Besides, theses devices are costly and the usage is complicated, moreover, the safety is poor because the main of devices should be located in the sea so that can be swept by the wave. For the reason, the aqcusition system of stereo image (SACiS) for measuring of sea wave has been deployed based on fotogrametry teretris. This less expensive device is simple in maintenance because the main device camera is located on shore. The laboratory testing of SACiS shows the accuracy is high. The deviation is less than 5% compare with probemeter. Afterward, the SACiS is utilized to measure in situ sea wave at Ngrehenan Beach in Gunung Kidul Yogyakarta. Under the circumstance which is the character of sea wave in the location is very complex but the result of measurement is somewhat valid.*

**Keyword:** sea wave, stereo image, SACiS, probemeter

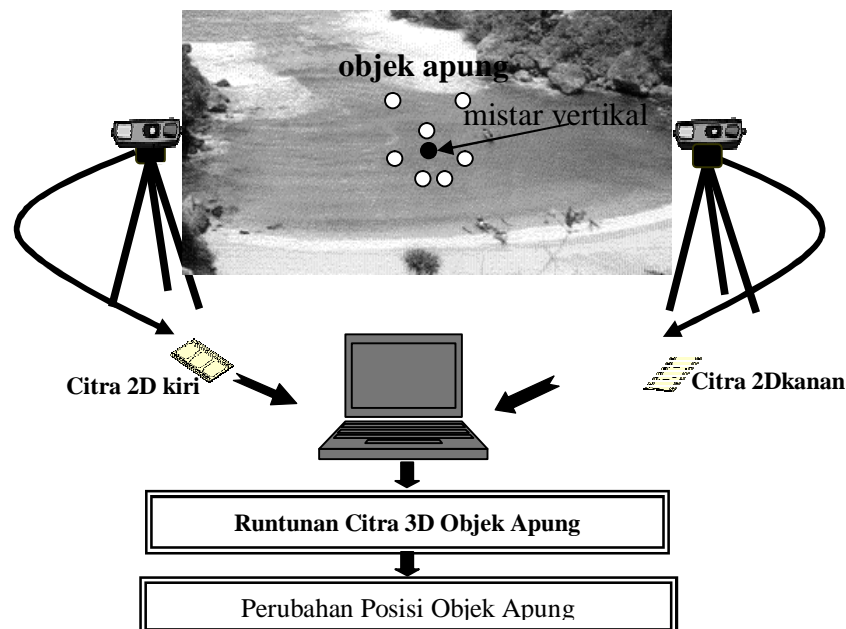
## 1. Pendahuluan

Pemanfaatan sistem akuisisi citra stereo (SACiS) untuk mengukur jarak dan elevasi atau koordinat titik yang citranya diakuisisi dari jarak dekat termasuk lingkup fotogrametri terestris (FT). Pada awalnya, FT dimanfaatkan untuk pemetaan situs-situs bangunan, daerah galian, terowongan, dan cadangan material. Didukung oleh perkembangan teknologi informasi, FT berkembang dan diterapkan pada berbagai bidang seperti: pertanian, konservasi, ekologi, kehutanan, arkeologi, antropologi, arsitektur, geologi, geografi, teknik, kriminologi, kedokteran, investigasi kecelakaan lalu lintas, dan oseanografi [1].

SACiS adalah suatu sistem penginderaan binokular artifisial. Pada sistem penginderaan binokular (*human vision*), sinyal atau pantulan cahaya dari objek penginderaan ditangkap oleh mata kiri dan mata kanan. Sinyal dari objek penginderaan itu diteruskan ke otak melalui saraf. Selanjutnya, sinyal itu dianalisis oleh otak sehingga timbul persepsi tentang objek penginderaan itu. Persepsi metrik manusia terhadap objek yang dilihatnya berbanding terbalik dengan jarak, artinya semakin jauh jarak manusia dengan objek yang dilihat maka benda itu tampak semakin kecil, dan sebaliknya. Persepsi metrik objek bergantung pada sudut paralaks yakni sudut yang dibentuk oleh obyek dengan kedua mata[2]. Semakin kecil sudut paralaks, maka objek dipersepsi semakin kecil dan sebaliknya[2]. Analog dengan sistem penginderaan binokular, kamera stereo pada SACiS adalah mata artifisial, sedangkan komputer dan *software* pengolah citra stereo menjadi citra 3D adalah jaringan saraf dan otak artifisial[3]. Persepsi metrik dalam SACiS analog dengan dimensi objek pencitraan yang diukur.

## 2.1 Perangkat SACiS

Seperti telah diuraikan pada bagian awaltulisan ini, bahwa SACiS adalah sistem penginderaan binokular artifisial. Agar supaya SACiS dapat difungsikan sebagai alat gelombang laut, maka diperlukan sebuah skala citra yakni dua buah titik pada bidang pencitraan yang telah diketahui jaraknya. Skala citra itu analog dengan mistar pada pengukuran jarak dan elevasi secara manual. Perangkat pendukung SACiS digolongkan menjadi dua yakni; perangkat keras, dan perangkat lunak. Perangkat keras SACiS terdiri atas sepasang kamera yang merek, tipe, dan media rekamnya sama, sepasang tripod, sejumlah bola plastik sebagai objek apung, skala citra, dan sebuah personal komputer. Bola-bola plastik itu berfungsi sebagai titik-titik pengukuran di permukaan air laut. Perangkat lunak SACiS adalah *software* bawaan kamera atau *software* komersial *lain* untuk memindahkan citra pada media rekam (*card memory*) ke *hardisc*, dan program komersial Photo Modeller untuk merekonstruksi citra stereo menjadi citra tiga dimensi (3D)[4]. Prinsip kerja dan tata letak perangkat keras SACiS untuk mengukur jarak dan elevasi dapat dijelaskan dengan diagram blok (Gambar 1). Citra objek-objek pencitraan yang tersebar di permukaan air laut dan skala citranya diakuisisi dengan kamera stereo. Citra stereo objek-objek pencitraan dan skala citranya direkonstruksi menjadi citra 3D. Koordinat objek-objek pencitraannya diekstrak dari citra 3D itu.



**Gambar 1.** Tata letak perangkat SACiS pada aplikasi dan uji kinerja SACiS untuk mengukur gelombang laut di Teluk Pantai Ngrehan

## 2.2 Rekonstruksi Citra Stereo menjadi Citra 3D pada SACiS

Prinsip dasar rekonstruksi citra stereo menjadi citra 3D pada SACiS adalah inversi transformasi sistem koordinat 3D menjadi sistem koordinat bidang citra 2 dimensi (2D) model proyeksi kamera *pinhole* seperti ditunjukkan Gambar 2. Pada ortofoto (kamera tidak miring) cahaya dipantulkan oleh obyek  $P(X_p, Y_p, Z_p)$  pada sistem koordinat kamera 3D menuju pusat proyeksi (pusat sistem koordinat kamera) melalui bidang citra, sehingga terbentuk citra titik  $P'(u_p, v_p)$  pada sistem koordinat bidang citra 2D [1,5]. Persamaan transformasi sistem koordinat 3D menjadi sistem koordinat bidang citra 2D adalah sebagai berikut:

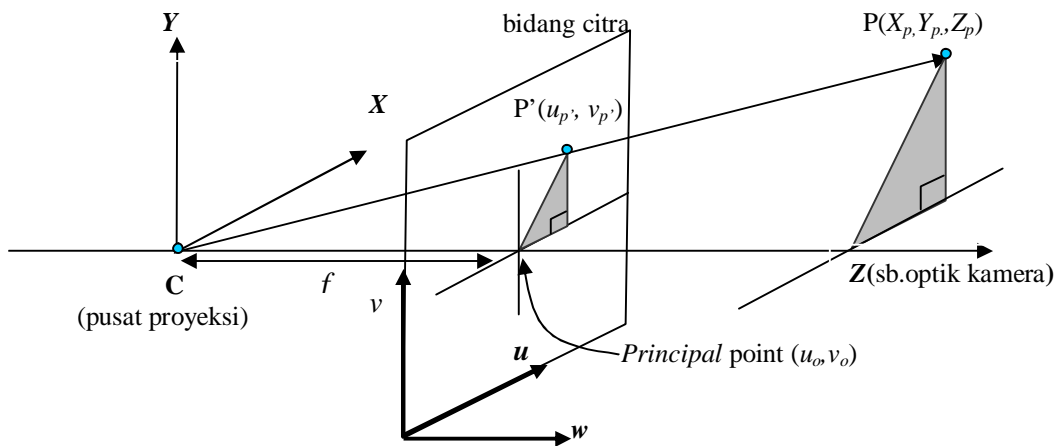
$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \\ 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} u_p \\ v_p \\ Z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fX_p + Z_p X_0 \\ fY_p + Z_p Y_0 \\ Z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & u_o & 0 \\ 0 & f & v_o & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dengan  $f$  adalah panjang fokus kamera,  $X_p$ ,  $Y_p$ , dan  $Z_p$  adalah koordinat titik P pada sistem koordinat kamera 3D.  $u_p$ , dan  $v_p$  adalah koordinat citra titik P yakni  $P'$  pada sistem koordinat bidang citra 2D. Oleh karena sistem koordinat bidang citra adalah sistem koordinat 2D, maka nilai  $w$  semua titik pada bidang citra adalah 0.  $w$  adalah sumbu imajiner pada sistem koordinat bidang citra 2D, yakni sumbu yang sejajar dengan sumbu optik kamera atau sumbu Z pada sistem koordinat kamera 3D.  $u_o$ , dan  $v_o$  adalah *principal point* bidang citra. Matrik 3x4 pada Persamaan 1 adalah matrik orientasi interior kamera. Apabila citra diakuisisi dengan kamera miring, maka orientasi eksterior kamera, harus diperhitungkan sehingga Persamaan 1 menjadi:

$$\begin{bmatrix} u_p \\ v_p \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_o & 0 \\ 0 & f_y & v_o & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ T \\ 0_3^T \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \\ 1 \end{bmatrix} = M_1 M_2 \bar{X} = M \bar{X} \quad (2)$$

Dengan  $f_x$  dan  $f_y$  adalah panjang fokus ekuivalen (dalam piksel) pada arah sumbu X dan Y.  $\bar{X} = (X, Y, Z, 1)^T$  adalah koordinat objek titik pencitraan pada sistem koordinat bumi 3D.  $Z_p$  juga disebut kedalaman titik P dilihat dari sistem koordinat kamera.  $M$  adalah matrik proyeksi 3x4,  $M_1$  adalah elemen matrik orientasi interior kamera,  $M_2$  adalah elemen matrik orientasi eksterior kamera. Oleh karena Persamaan 1 dan 2 adalah persamaan dasar transformasi sistem koordinat 3D menjadi sistem koordinat bidang citra 2D maka faktor *skew*, dan distorsi radial yang disebabkan oleh ketidaksempurnaan kamera belum diikutkan. Namun demikian, *software PhotoModeller Pro 5* yang digunakan untuk merekonstruksi citra stereo 2D menjadi citra 3D pada penelitian ini melibatkan faktor *skew* dan distorsi radial dalam algoritmanya, sehingga hasil perhitungannya menjadi akurat.

Sesuai dengan standard rutin pengolahan citra 3D, bahwa proses rekonstruksi citra stereo menjadi citra 3D diawali dengan kalibrasi kamera. Parameter-parameter kalibrasi kamera itu didefinisikan sebagai elemen-elemen matrik orientasi interior kamera pada setiap proses rekonstruksi citra stereo menjadi citra 3D [6]. Kalibrasi kamera pada *software PhotoModeller Pro 5* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *pattern* khusus serupa dengan *chessboard pattern*, tetapi sudut-sudut kotak *chessboard* diganti dengan titik hitam dengan latar belakang warna putih (bukan kotak-kotak hitam putih). *Pattern* kalibrasi itu diletakkan di atas lantai, kemudian difoto dari 4 arah mata angin dengan posisi kamera *portrait* dan *landscape*, sehingga diperoleh 8 bingkai citra *pattern*.



**Gambar 2. Transformasi sistem koordinat pada model proyeksi kamera *Pinhole***

## 2. Metode Penelitian

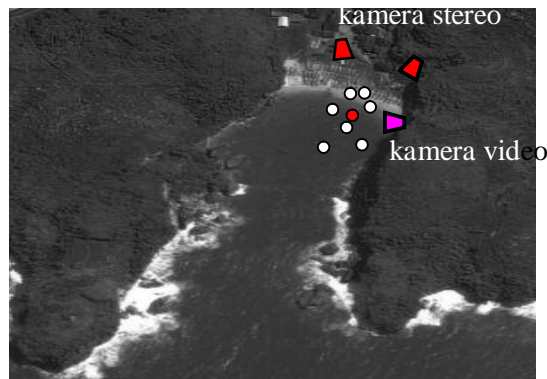
### 2.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di suatu teluk di pantai Ngrenenhan, Kabupaten Gunung Kidul Yogyakarta. Sisi kiri dan kanan teluk adalah tebing karang yang sangat curam. Pada mulut teluk terdapat *coral reef* sehingga gelombang-gelombang yang relatif panjang pecah di mulut teluk, tetapi gelombang-gelombang pendek tidak pecah dan menjalar ke teluk. Arah gelombang yang menjalar ke teluk tidak beraturan, ada yang menuju pantai pasir di ujung teluk dan akibat perubahan kedalaman ada gelombang terrefraksi ke sisi kiri dan kanan teluk. Pada saat air pasang, gelombang refraksi terjadi di sepanjang sisi kiri dan kanan pantai karang. Gelombang-gelombang refraksi itu pecah karena membentur karang dan terrefleksi, sehingga arahnya tidak beraturan. Selanjutnya, gelombang-gelombang refleksi itu bercampur dengan gelombang yang tidak pecah di mulut teluk menuju pantai pasir. Oleh karena itu, gelombang yang menuju pantai pasir terdiri atas banyak gelombang pendek yang periode dan arahnya tidak beraturan atau gelombang yang sangat kompleks. Aplikasi SACiS untuk mengukur gelombang laut di pantai Ngrenenhan ketika air laut sedang pasang. Ketika percobaan dilakukan, cuaca cerah berawan.

### 2.2 Konfigurasi Sistem Akuisisi Citra Stereo

Konfigurasi sistem akuisisi citra stereo ditunjukkan pada Gambar 3. Kamera yang digunakan adalah 2 kamera merk Canon tipe EOS 550. Masing-masing kamera stereo dipasang di atas tripod di atas pasir pantai. Jarak kamera stereo (basis kamera) 25m. Kamera stereo diarahkan ke posisi objek-objek apung yang tersebar di tengah laut. Jarak antara basis kamera dengan objek-objek apung  $\pm 75$ m. Kamera diatur pada mode video, dan resolusinya diatur pada 1920X1208 piksel. Lensa yang digunakan adalah lensa bawaan kamera dan diatur pada panjang fokus maksimum yaitu 55mm.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 3, objek-objek apung yang terdiri atas sejumlah bola plastik diletakkan sedemikian rupa sehingga posisinya menyebar dipermukaan laut. Dua bola terdekat garis pantai terikat pada ujung-ujung sebuah pipa, sehingga jaraknya tetap dan difungsikan sebagai skala citra. Setiap objek apung diikat dengan seutas tali plastik halus dan dijangkar dengan karung yang diisi pasir. Jarak antara karung yang berfungsi sebagai jangkar itu berkisar 3m. Objek apung akan mengikuti fluktuasi permukaan air laut.



**Gambar 3. Konfigurasi SACiS**  
 ○ = objek apung, ● = mistar ukur

### 2.3 Mistar sebagai Alat Validasi SACiS

Alat untuk memvalidasi kinerja SACiS adalah sebuah mistar ukur fluktuasi permukaan air laut yang dipasang pada sebuah tetrapod. Fluktuasi permukaan air laut itu direkam dengan sebuah kamera video merk Panasonic tipe D250E. Mistar ukur dipancang diantara 4 objek apung, dan sebuah objek apung diposisikan dekat dengan mistar itu (Gambar 3). Kamera video perekam fluktuasi permukaan air laut yang terbaca pada mistar dipasang pada sebuah tripod yang diletakkan di atas karang di sisi timur teluk. Kamera video diatur pada resolusi 480x720 piksel dengan kecepatan cuplik 25 bingkai/s. Kamera video dan kamera stereo diaktifkan dan/atau dinonaktifkan pada saat yang sama.

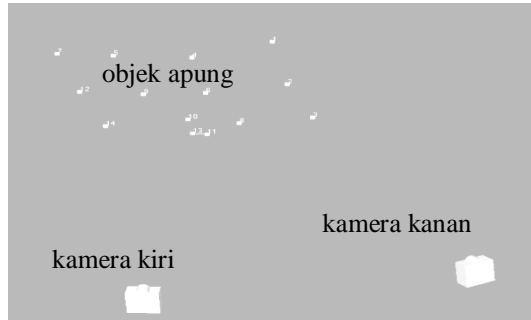
### 2.4 Pengolahan Citra Stereo

Runtunan citra stereo objek apung dari pasangan kamera stereo formatnya adalah video. Runtunan citra stereo format video itu dikompresi menjadi runtunan citra stereo dalam format citra diam (*still images*), (Gambar 4).



**Gambar 4. Citra stereo dalam format citra diam**

Setiap pasangan citra stereo dalam format citra diam itu direkonstruksi menjadi citra 3D sesuai dengan urutannya (Gambar 5). Selanjutnya, dari runtunan citra 3D itu dapat diekstrak fluktuasi objek apung yang menjadi indikator fluktuasi permukaan air.

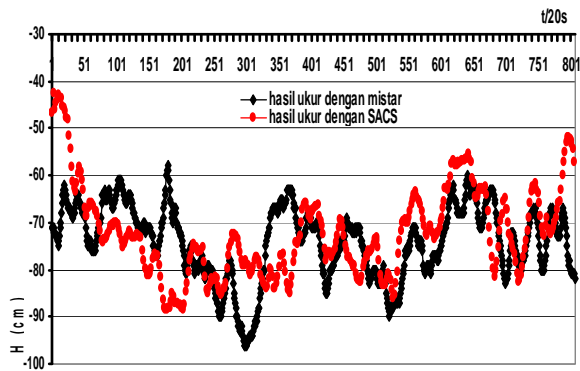


Gambar 5. Citra 3D objek-objek apung dan kamera stereo

### 3. Hasil dan Pembahasan

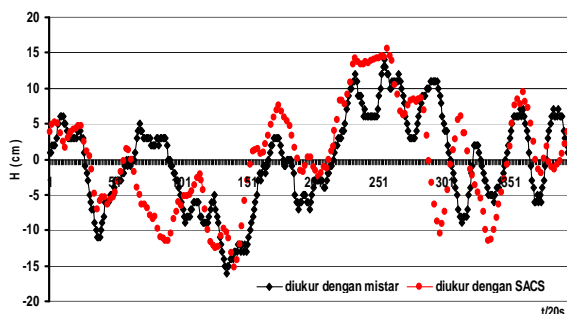
#### 3.1 Tinggi dan Fase Gelombang

Hasil rekonstruksi *time series* koordinat Z indikator fluktuasi permukaan air laut dari citra 3D, dan hasil rekonstruksi *time series* elevasi permukaan air yang terbaca pada mistar ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil pengukuran gelombang laut di Pantai Ngrehenan

Pada Gambar 6 tampak bahwa unit-unit gelombang hasil pengukuran dengan SACS dan mistar tidak sama, tetapi polanya mirip. Namun demikian, ada sejumlah unit gelombang yang sangat mirip yakni yang terukur antara  $t = 430/20s$  sampai dengan  $t = 830/20s$ . Setelah rerata muka air tenang (*mean sea level*) dihitung dan dilakukan normalisasi terhadap hasil pengukuran unit-unit gelombang yang sangat mirip itu, maka bentuknya seperti Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengukuran gelombang laut yang mirip

Unit-unit gelombang pada Gambar 7 dihitung dengan menerapkan aturan *zeroup crossing*, sehingga diperoleh 5 unit gelombang dalam waktu pengukuran sekitar 20 detik seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil pengukuran gelombang yang mirip**

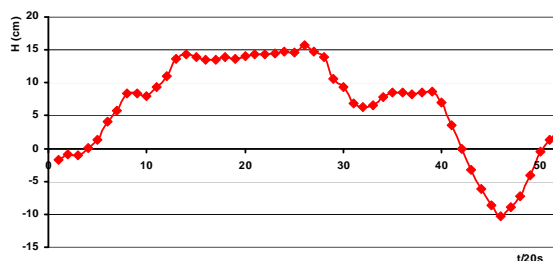
No	diukur dengan SACIS		diukur dengan mistar	
	H (cm)	T (s)	H (cm)	T (s)
1	18,3	4.8	20	4.8
2	10	2.85	10	2.8
3	27.7	4.8	22	5.5
4	19,4	2.1	17	1.4
5	11,6	1.45	13	1.4

Tabel 1 menunjukkan bahwa perbedaan hasil pengukuran tinggi gelombang terbesar terjadi pada unit gelombang nomor 3. Gelombang yang diukur dengan SACiS lebih tinggi 5,7cm daripada yang diukur dengan mistar, tetapi periode gelombang yang diukur dengan mistar lebih besar 1,3s daripada yang diukur dengan SACiS. Secara umum perbedaan tinggi gelombang hasil pengukuran dengan SACiS dan mistar selama kurang lebih 20s itu relatif kecil. Hasil pengukuran gelombang didominasi oleh gelombang-gelombang pendek yakni gelombang yang periodenya kurang dari 6s. Hal itu cukup realistis, karena gelombang yang masuk ke teluk adalah gelombang-gelombang pendek, karena gelombang-gelombang panjang sudah pecah di mulut teluk. Hasil pengukuran gelombang laut dengan SACiS di teluk pantai Ngrenehan menunjukkan bahwa SACiS mampu mengukur gelombang-gelombang kecil dan periodenya pendek.

Ada perbedaan fase gelombang yang diukur dengan SACiS dengan yang diukur dengan mistar. Gelombang yang diukur dengan SACiS mendahului gelombang yang diukur dengan mistar. Perbedaan fase itu menunjukkan bahwa secara berturut-turut gelombang laut merambat dari laut dalam menuju objek apung yang dijadikan sampel, mistar, dan pantai pasir. Hal itu sesuai dengan konfigurasi SACiS (Gambar 3), bahwa posisi mistar lebih dekat dengan pantai pasir dari pada indikator objek apung yang dijadikan sampel pengukuran.

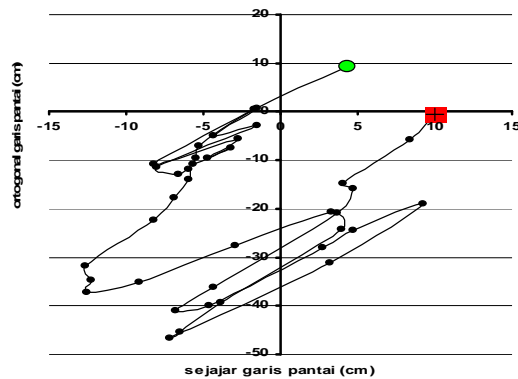
### 3.2. Arah Penjalaran Gelombang Laut

Seperti dijelaskan pada Gambar 1, bahwa dari runtunan citra 3D dapat diekstrak perubahan posisi objek apung. Perubahan posisi itu meliputi perubahan posisi arah vertical dan horizontal. Perubahan posisi objek apung pada arah horizontal menunjukkan arah penjalaran gelombang yang diukur. Agar lebih mudah dipahami, maka analisis perubahan posisi objek apung dibatasi pada selang waktu  $228/20s \leq t \leq 270/20s$  (Gambar 7). Pada selang waktu itu gelombang yang diukur oleh SACiS adalah gelombang nomor 4 (Tabel 1). Secara terpisah bentuk unit gelombang itu ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8. Tinggi dan periode unit gelombang nomor 4 di Gambar 7**

Perubahan posisi objek apung unit gelombang nomor 4 pada arah sejajar dan ortogonal garis pantai ditunjukkan pada Gambar 9. Gambar 9 menunjukkan bahwa objek apung bergerak bolak balik sejajar garis pantai sepanjang 22,5cm, dan bergerak bolak balik pada arah ortogonal garis pantai sepanjang 45cm.



**Gambar 9. Gerakkan objek apung pada arah sejajar dan ortogonal garis pantai**  
 ● = posisi awal    ■ = posisi akhir

Data itu menunjukkan bahwa arah gelombang di titik pengukuran adalah condong ke timur laut. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3, posisi objek apung yang dijadikan sebagai indikator fluktuasi permukaan air laut berada pada pojok timur teluk. Pola arah gerakan objek apung itu sesuai dengan teori perambatan gelombang laut ketika mendekati pantai yang menyatakan bahwa arah gelombang ortogonal garis pantai yakni ke arah pojok timur teluk. Kenyataan itu menguatkan alasan bahwa pengukuran arah unit gelombang dengan SACiS cukup realistis.

#### 4. Simpulan

Dari analisis data uji kinerja SACiS di teluk pantai Ngrenehan menunjukkan bahwa beda fase gelombang-gelombang panjang antara yang terukur pada objek apung pada SACiS dengan yang terukur pada mistar menunjukkan arah jalar gelombang menuju garis pantai. Arah jalar gelombang dapat diketahui dari gerakan horizontal objek apung pada arah sejajar dan ortogonal garis pantai, sehingga hasil pengukuran gelombang laut dengan SACiS dapat menunjukkan arah jalar gelombang laut. Hasil pengukuran tinggi gelombang dengan SACiS dan mistar relatif sama, sehingga hasil pengukuran tinggi gelombang dengan SACiS cukup teliti. Jumlah unit gelombang hasil pengukuran dengan SACiS sama dengan hasil pengukuran dengan mistar. Arah unit gelombang terutama gelombang pendek yang diukur di dua titik yang relatif dekat pada waktu yang sama tidak selalau sama, kenyataan itu menunjukkan bahwa gelombang yang masuk ke teluk adalah gelombang yang kompleks karena terdiri atas gelombang pendek yang datang dari laut lepas yang bercampur dengan gelombang-gelombang refleksi dari pinggir pantai.

#### Daftar Pustaka

- [1] Linder, W., "Digital Photogrammetry, Springer-Verlag Berlin Heidelberg", 2006.
- [2] Santel, F., C. Heipke., S. Konneke, H. Wegmann, "Image Sequence Matching for The Determination of Three-Dimensional Wave Surface", Institut for Photogrammetry and GeoInformation, University of Hanover Nienburger Str, 1,30167 Hanover, Germany, 2002.
- [3] Jelun, N., dkk, "Development of Stereo Image Acquisition System to Measure Physical Properties of Water waves", International Seminar on Climate Change impacts on water resource and Coastal management in Developing countries, Manado, Mei 11-13 Mei 2009.
- [4] www.photompdeller.com
- [5] Jaysen, N., "Measurement of Validation of Waterline and Surface Current Using Surf-zone Video Imaging", Submitted in Fulfillment of The Academic Requirement Degree of Master of Science in The School of Pure Applied Physics University of Natal, 2002.



- [6] Santel, F., Wilfried Linder., Christian Heipke., "Image Sequence Analysis Of Surf Zones: Methodology and First Results", Institut Of Photogrametry and Geoinformation, University of Hanover, Germany, (santel, linder, heipke)@ipi.uni-hanover.de [diakses 2004]