
PEMETAAN BATIMETRI UNTUK PERENCANAAN Pengerukan KOLAM PELABUHAN BENOA, BALI

Agustinus Wahyu Wijayanto, Siddhi Saputro, Muslim

Program Studi Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang – 50275. Telp/Fax (024) 7474698

E-mail:

agustinuswahyuwijayanto@gmail.com, saputrosiddi@gmail.com, aqua_muslim@yahoo.com

ABSTRAK

Pelabuhan Benoa merupakan salah satu pintu gerbang destinasi pariwisata menuju ke Kota Denpasar melalui jalur laut. Analisis batimetri dan pasang surut pada penelitian ini merupakan parameter penting dalam pembuatan peta batimetri untuk perencanaan pengerukan pada kolam Pelabuhan Benoa. Pemetaan batimetri ini bertujuan mengetahui kondisi kedalaman perairan untuk menentukan penambahan kedalaman yang layak dan menentukan volume pengerukan untuk perencanaan pengerukan dalam rangka perawatan dan pemeliharaan kolam Pelabuhan Benoa. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 29 Februari-31 Maret 2016 di Perairan Teluk Benoa, Bali. Kegiatan pemeruman dengan *multibeam echosounder* dilaksanakan di Perairan Teluk Benoa serta dilakukan pengukuran pasang surut di dermaga timur. Materi yang dijadikan objek studi dalam penelitian ini meliputi batimetri dan pasang surut. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa nilai kedalaman area keruk kolam pelabuhan depan dermaga selatan berkisar antara -8,44 mLWS hingga -11,59 mLWS dan area keruk kolam pelabuhan depan dermaga timur berkisar antara -4,83 mLWS hingga -10,53 mLWS. Desain kedalaman rencana berdasarkan nilai *draft* kapal terbesar yaitu -10 mLWS. Volume pengerukan berdasarkan desain kedalaman, *slope*, penambahan *siltation rate* dan luas area pada kolam depan dermaga selatan dan kolam depan dermaga timur yaitu 29.207,717 m³ dan 59.941,409 m³.

Kata kunci: *Pasang Surut, Batimetri, Kolam Pelabuhan, Pengerukan, Pelabuhan Benoa, Multibeam Echosounder*

ABSTRACT

Port of Benoa is one of the tourism gateway to the city of Denpasar by sea. Bathymetry and the tidal analysis are important parameters in the manufacture of bathymetric maps. Bathymetric data is used as the main data in the determination of an additional depth in the basin as well as to ascertain the volume of dredging. Bathymetric mapping aims to determine the condition of the water depth to determine the addition of a decent depth and determine the volume of dredging for planning dredging in order to care and maintain basin of Benoa Harbour. This study was conducted on February, 29th to March, 31th 2016 at Benoa Bay, Bali. Sounding activities by multibeam echosounder held at Benoa Bay and tidal measurements at the east jetty. The material used as the object of study in this research include bathymetry and tidal. The results showed that the value of the depth of dredging area in front of south jetty ranged from -8,44 mLWS to -11,59 mLWS and the value of the depth of dredging area in front of east jetty ranged from -4,83 mLWS to -10,53 mLWS. Depth design based on the largest ship that is -10 mLWS. The volume of dredging is based on the depth design, slope design, replenishment of siltation rate and area in the dredging area in front of south jetty and dredging area in front of east jetty are 29.207,717 m³ dan 59.941,409 m³.

Keywords : *Tidal, Bathymetry, Basin, Dredging, Port of Benoa, Multibeam Echosounder*

I. Pendahuluan

Kota Denpasar, Bali memiliki peran strategis dalam mendukung perekonomian nasional sehinggamendapatkan perhatian yang cukup tinggi dari pemerintah pusat dan provinsi. Pelabuhan Benoa adalah pelabuhan yang terdapat di Kota Denpasar, Provinsi Bali. Pelabuhan Benoa merupakan salah satu pintu gerbang pariwisata ke Kota Denpasar melalui jalur laut. Pada tahun 2010, Pelabuhan Benoa mendapat penghargaan dari Mancanegara *Dream World Cruise Destination* sebagai *Best Port Welcome*. Keberadaan Pelabuhan Benoa sebagai salah satu subsistem transportasi mempunyai peran yang strategis dalam pariwisata domestik maupun internasional. (Dishidros TNI AL, 2015).

PT. Pelabuhan Indonesia III (Persero) selaku pengelola Pelabuhan Benoa, berupaya meningkatkan pelayanan pariwisata Balidengan melaksanakan pengerukan material dasar laut. Pengerukan ini akan dilaksanakan pada kolam dermaga timur dan kolam dermaga selatan sehingga diharapkan kapal-kapal pesiar yang membawa wisatawan mancanegara dapat merapat di kolamPelabuhan Benoa secara aman. Pengerukan material dasar laut ini diharapkan dapat menyebabkan perubahan nilai kedalaman kolam Pelabuhan Benoa menjadi kedalaman yang sesuai dan memadai untuk *draft* kapal terbesar yang akan masuk ke Pelabuhan Benoa agar dapat bersandar dengan aman.

Pekerjaan pengerukan kolam pelabuhan tidak terlepas dari pekerjaan survei pemetaan laut (survei batimetri). Survei batimetri memberikan gambaran tentang kondisi elevasi asli dari suatu kedalaman sebenarnya yang divisualisasikan menjadi peta batimetri. Peta batimetri berfungsi sebagai sumber data utama dalam menentukan desain pengerukan dan volume pengerukan pada kolam Pelabuhan Benoa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kedalaman suatu perairan, sehingga dapat diperoleh data utama dalam penentuan desain kedalaman yang memadai untuk kapal dengan *draft* terbesar yaitu -9,1 mLWS dan penentuan volume pengerukan kolam Pelabuhan Benoa, sebagai upaya dalam mewujudkan keselamatan pelayaran.

II. Materi dan Metode Penelitian

Materi

Materi yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan cara pengambilan data adalah data primer dan sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui survei lapangan. Adapun data primer tersebut yaitu data koordinat *base station*, data batimetri, data kecepatan gelombang suara, data uji keseimbangan / *patch test* dan data pasang surut. Sedangkan data sekunder merupakan data yang diperoleh tidak secara langsung melainkan melalui perantara atau data hasil survei dari pihak lain. Adapun data sekunder tersebut antara lain data desain keruk dari PT. Pelabuhan Indonesia III (Persero) cabang Benoa, peta batimetri Pantai Tenggara Pelabuhan Benoa, Bali skala 1: 5000 tahun 2015 publikasi Dishidros TNI AL, dan data karakteristik kapal tahun 2015 Pelabuhan Benoa.

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kasus. Metode kasus merupakan metode penelitian dengan menggunakan cara-cara yang sistematis dalam melakukan pengamatan, pengumpulan data, analisis informasi, dan pelaporan hasil. Sedangkan metode analisis yang digunakan yaitu metode kuantitatif. Metode kuantitatif merupakan metode ilmiah (*scientific*) karena telah memenuhi kaidah-kaidah ilmiah yang konkret/empiris, obyektif, terukur, rasional, sistematis(Sugiyono, 2011). Pada pelaksanaan penelitian ini meliputi survei lapangan, pengambilan data

batimetri, pengambilan data pasang surut, analisis data batimetri, penentuan volume pengerukan dan penyusunan laporan.

Base Station

Penentuan posisi koordinat *base station* akan membentuk suatu pola jaring ikat GPS, dimana data mentah dalam penentuan *base station* diolah dengan menggunakan *Software TBC Software Advanced*. Data tersebut akan menghasilkan posisi koordinat pada *base station*. Menurut Poerbandono dan Djunarsah (2005), proses penentuan koordinat dari titik-titik dalam suatu jaringan dalam survei GPS, terdiri dari tiga tahap, yaitu pengolahan data dari setiap *baseline* dalam jaringan, perataan jaringan yang melibatkan semua *baseline* untuk menentukan koordinat dari titik-titik dalam jaringan, dan transformasi koordinat titik-titik tersebut dari datum WGS-84 ke datum yang diperlukan oleh pengguna.

Pasang Surut

Hasil pengamatan pasang surut berupakanilai muka surutan sementara (LWS sementara) yang berasal dari pengukuran pasang surut 3 x 39 jam dan muka surutan (LWS) hasil dari pengukuran pasang surut 29 hari digunakan untuk koreksi kedalaman sebenarnya pada daerah survei.

Batimetri

Data kedalaman dari *multibeam echosounder* diolah dengan *Software Hypack Hysweep 2015*. Menurut BSN Survei Hidrografi (2013), pengolahan data batimetri harus melewati beberapa tahapan, antara lain *cleaning data sensor, patch test*, uji validasi data pemeruman (*total vertical uncertainty*), koreksi kecepatan gelombang suara (*sound velocity profile*), koreksi pasang surut, proses *swath* data, pembuatan kontur.

Volume Pengerukan

Penelitian ini memperhitungkan *cut* atau volume keruk dimana perhitungan volume pengerukan dengan perangkat lunak berbasis model permukaan digital dengan menggunakan bantuan *Software AutoCad Civil 3D 2016* dengan menggunakan metode interpolasi TIN (*Triangulated Irregular Network*) dimana model ini merupakan cara yang sederhana dalam membangun sebuah permukaan digital dari sekumpulan titik-titik data yang terdistribusi secara tidak teratur. Sebelum menghitung volume, maka harus membuat desain keruk. Tahapan dalam penentuan desain keruk yaitu penentuan *slope/* kemiringan kolam pelabuhan, menentukan kedalaman kolam pelabuhan

Pada penelitian ini, desain keruk yang meliputi desain *slope /* kemiringan, *siltation rate*, desain lebar area keruk, serta koordinat batas area pengerukan sudah ditentukan oleh PT. Pelabuhan Indonesia III (Persero). Desain *slope /* kemiringan yang dipakai yaitu sebesar 1:4. *Siltation rate* yang diperkirakan saat pelaksanaan pengerukan yaitu sebesar 10% dimana hasil dari total volume pengerukan akan dikalikan nilai *siltation rate* kemudian ditambahkan dengan total volume pengerukan yang belum dikalikan dengan *siltation rate*. Area yang akan dikeruk yaitu kolam pelabuhan dermaga selatan dan kolam pelabuhan dermaga timur. Desain lebar kolam dermaga selatan yaitu 100 m sedangkan desain lebar pada kolam dermaga timur yaitu 150 m. Peta area keruk dibatasi oleh garis yang terhubung dari koordinat 115°12'31,28" Bujur Timur hingga 115°12'59,39" Bujur Timur dan 8°44'28,11" Lintang Selatan hingga 8°44'53,86" Lintang Selatan. Luas area keruk kolam dermaga selatan yaitu 25.437,6 m² sedangkan luas area kolam dermaga timur yaitu 78.397,4 m².

III. Hasil dan Pembahasan

Base Station

Penentuan posisi koordinat *base station* yang dapat ditunjukkan melalui Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Penentuan Posisi Koordinat *Base Station* Pelabuhan Benoa

| Titik | (LS) | (BT) | Zona | X | Y |
|---------------------|----------------|-----------------|------|------------|-------------|
| BM Bnoa | 08° 44' 35,16" | 115° 12' 36,12" | 50 L | 303090,180 | 9033082,625 |
| BM Obna | 08° 44' 46,61" | 115° 12' 40,74" | 50 L | 303233,286 | 9032731,175 |
| <i>Base Station</i> | 08° 44' 40,85" | 115° 12' 37,34" | 50 L | 303128,469 | 9032922,940 |

Penentuan koordinat *base station* dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode statik diferensial dengan poligon tertutup. Metode statik diferensial dengan poligon tertutup memiliki tingkat ketelitian yang sangat tinggi. Metode statik diferensial dengan poligon tertutup adalah penentuan posisi titik-titik yang diam (statik) dalam jangka waktu tertentu tergantung jarak antara beberapa penerima / *receiver*, dalam hal ini adalah *base* dan *rover*. Hal ini menyebabkan tingkat ketelitian posisi yang didapatkan umumnya mencapai radius maksimal 3 mm. Pengamatan satelit GPS dalam hal ini umumnya dilakukan *baseline* per *baseline* selama selang waktu tertentu (beberapa puluh menit sampai beberapa jam tergantung tingkat ketelitian yang diinginkan) dalam suatu jaringan (kerangka) dari titik-titik yang akan ditentukan posisinya dengan membentuk suatu jaring kontrol.

Baseline tidak terlepas dari adanya titik ikat / stasiun referensi. Stasiun referensi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu BM Obna milik Badan Informasi Geospasial (BIG) yang terletak pada dermaga selatan dan BM Bnoa milik Badan Informasi Geospasial (BIG) yang terletak di dalam area Gedung Distrik Navigasi Pelabuhan Benoa, Bali. Stasiun referensi dalam penentuan posisi koordinat *base station* minimal terdiri dari 1 stasiun referensi agar menghasilkan nilai yang valid dalam menentukan koordinat titik kontrol / *base station*. Fungsi dari penentuan titik kontrol / *base station* yaitu untuk memberikan koreksi posisi dalam penentuan posisi fiks pemeruman.

Dalam penentuan koordinat *base station*, kondisi lapangan sangat mempengaruhi penangkapan sinyal oleh GPS. Pengaruh dari penangkapan sinyal yang baik akan mempengaruhi tingkat ketelitian dari koordinat *base station*. Dalam penelitian ini, kondisi obstruksi disekitar titik pengamatan yang terdiri dari bangunan dan pepohonan mengakibatkan data pengamatan GPS yang masuk menjadi lebih sedikit karena data dari satelit GPS banyak yang terputus-putus (*cycle slip*) karena sinyal pengamatan GPS yang diterima oleh *receiver* GPS terhalang oleh pepohonan. Selain *cycle slip*, terjadi fenomena *multipath* yang diakibatkan oleh sinyal GPS yang masuk ke *receiver* GPS terpantul terlebih dahulu oleh bangunan yang ada di sekeliling lokasi pengukuran.

Pasang Surut

Data pasang surut berfungsi untuk mengkoreksi data batimetri untuk mendapatkan kedalaman sebenarnya. Terdapat 2 jenis data pasang surut untuk mengkoreksi data batimetri yaitu data Duduk Tengah Sementara (DTS) / MSL sementara dan pasang surut selama 29 hari. DTS digunakan untuk mencari nilai muka surutan sementara kemudian digunakan untuk koreksi data mentah pasang surut selama 3 x 39 jam. Data pasang surut yang sudah dikoreksi dengan muka surutan sementara dimasukkan saat pemrosesan data melalui *Software Hypack Hysweep 2015*. Sedangkan data pasang surut 29 hari digunakan untuk mengkoreksi data batimetri setelah pelaksanaan pemrosesan data, dimana data pasang surut 29 hari ini diolah secara *Admiraty* untuk mendapatkan nilai LWS (*Low Water Spring*).

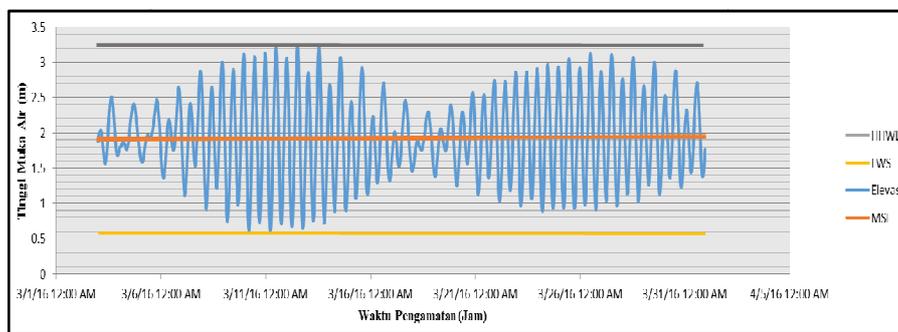
Hasil perhitungan pasang surut sementara pengukuran 3x39 jam diperoleh kedudukan muka air sebagai berikut:

- Tinggi BM terhadap Nol Palembang : 596 cm;
- Tinggi DTS terhadap Nol Palembang : 196 cm;
- Tinggi BM terhadap DTS : 400 cm;
- Z_0 : 130 cm; dan
- Tinggi Muka Surutan terhadap Nol Palembang : 66 cm.

Hasil pengamatan pasang surut 29 hari diperoleh kedudukan muka air sebagai berikut:

- Mean Sea Level (MSL) : 193 cm;
- Z_0 : 133 cm; dan
- LWS : 60 cm

Pada lokasi penelitian didapatkan nilai Formzahl sebesar 0,438. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tipe pasang surut di Perairan Pelabuhan Benoa, Bali adalah pasang surut campuran condong ke harian ganda.



Gambar 1. Grafik Pasang Surut 29 hari Pelabuhan Benoa, Bali

Perhitungan Z_0 menggunakan versi Dishidros TNI AL. Nilai Z_0 yang berasal dari peta memiliki nilai yang berbeda dengan nilai Z_0 yang diperoleh dari konstanta harmonik pasang surut 29 hari. Perbedaan nilai Z_0 dikarenakan adanya fenomena gerhana matahari total yang terjadi pada bulan Maret 2016 yang melintas pada wilayah Indonesia. Menurut Triatmodjo (2010), pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik menarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Fenomena gerhana matahari disebut juga peristiwa perihelium. Menurut Tjasyono (2006), peristiwa perihelium adalah posisi terdekat bumi terhadap matahari dalam lintasan edar yang berbentuk elips. Peristiwa perihelium ini menyebabkan meningkatnya gaya gravitasi matahari terhadap bumi sehingga mempengaruhi meningkatnya massa air laut yang terjadi pada bulan Maret 2016 sehingga menyebabkan adanya perbedaan nilai Z_0 .

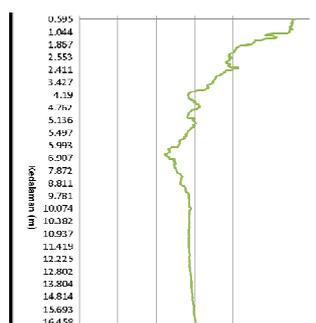
Nilai Z_0 dan MSL digunakan untuk mencari nilai LWS. Nilai LWS dalam penelitian ini digunakan sebagai koreksi data kedalaman laut sementara yang telah dikoreksi oleh data *patch test*, kecepatan gelombang suara, dan muka surutan sementara kemudian menjadi nilai kedalaman sebenarnya. Data kedalaman laut sementara tersebut dikoreksi kembali oleh nilai LWS hasil pengambilan data pasang surut selama 29 hari dengan mengambil nilai selisih antara LWS sementara dengan LWS hasil pengukuran 29 hari. Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan posisi kedudukan kedalaman sebenarnya terhadap nilai LWS yang telah diolah melalui Metode *Admiralty*.

Batimetri

Pengambilan batimetri dalam penelitian ini menggunakan *multibeam echosounder* dengan tipe *Multibeam Teledyne Odom MBI Echo Sounder*. Sistem koreksi dalam penentuan titik fiks perum yaitu menggunakan sistem DGPS. Sistem DGPS memanfaatkan titik ikat GPS secara vertikal untuk koreksi nilai koordinat yang dihasilkan saat proses pemeruman. Pada pelaksanaan pemeruman, frekuensi yang digunakan yaitu sebesar 200 kHz. Frekuensi ini digunakan karena memiliki ketelitian yang tinggi saat pengambilan data. Pemeruman ini termasuk dalam golongan orde khusus karena berada pada area pelabuhan.

Terdapat 3 area lokasi survei yaitu kolam pelabuhan dermaga timur, kolam pelabuhan dermaga selatan dan alur pelayaran. Masing-masing area memiliki rata-rata kedalaman yang berbeda-beda. Perbedaan kedalaman pada masing-masing area mengakibatkan adanya perbedaan interval lajur pemeruman serta mempengaruhi lebar sapuan yang dihasilkan oleh *multibeam echosounder*. Melalui hasil lebar sapuan yang telah terhitung berdasarkan *optimum beam swath* dan rata-rata kedalaman dari masing-masing area, maka dapat dilihat bahwa area dengan rata-rata kedalaman yang lebih dalam memiliki lebar sapuan yang lebih lebar dibandingkan dengan area yang memiliki rata-rata kedalaman yang dangkal.

Sound Velocity Profile (SVP) atau profil kecepatan gelombang suara merupakan gambaran perambatan gelombang akustik di dalam air. Di setiap perairan tentu memiliki SVP yang berbeda-beda tergantung dari salinitas, suhu serta tekanan yang ada pada perairan tersebut. Kalibrasi kecepatan gelombang suara bertujuan untuk menentukan transmisi dan kecepatan rambat gelombang suara dalam air laut. Kalibrasi ini dilaksanakan minimal sebelum dan setelah dilaksanakan survei pada hari yang sama dengan memperhatikan area pengambilan data. Kecepatan gelombang suara sangat dipengaruhi oleh adanya salinitas, densitas dan temperatur berdasarkan lokasi atau area pengambilannya karena wilayah yang dipengaruhi oleh air tawar memiliki kondisi yang berbeda dengan wilayah yang dipengaruhi oleh air asin. Pada penelitian ini, penentuan area pengambilan data kecepatan gelombang suara terletak pada area kolam putar dan mulut alur pelayaran dengan asumsi bahwa nilai kecepatan gelombang suara yang dihasilkan berbeda.



Gambar 2. Profil Kecepatan Gelombang Suara

Data kecepatan gelombang suara yang telah diolah ini digunakan dalam koreksi data batimetri sementara yang diolah melalui *Software Hypack Hysweep 2015* bersama dengan data pasang surut sementara yang telah dikoreksi dengan muka surutan sementara. Dalam pemrosesan data *multibeam*, profil kecepatan suara sangatlah penting. Jika ada kesalahan pada SVP akan menyebabkan jalur menjadi tidak horisontal atau melengkung. Kesalahan ini dapat terjadi karena salah dalam menentukan nilai *sound velocity* dalam sebuah perairan yang dapat mengganggu penghitungan waktu tembak dan penerimaan *beam*, akibatnya kedalaman yang tercatat menjadi tidak valid. Transduser memiliki *hydrophones* yang akan menembakkan gelombang akustik ke permukaan bawah laut dan akan memantul kembali sehingga gelombang tersebut akan diterima kembali oleh transduser. Dari perjalanan gelombang tersebut transduser akan

menghitung lamanya waktu penjalaran gelombang dalam air, apabila terdapat kesalahan dalam menentukan kecepatan suara maka kedalaman yang akan dihitung menjadi salah pula, bila terlalu lambat maka nilai kedalaman bisa lebih dari nilai kedalaman sebenarnya dan apabila terlalu cepat maka nilai kedalaman bisa kurang dari yang nilai kedalaman sebenarnya.

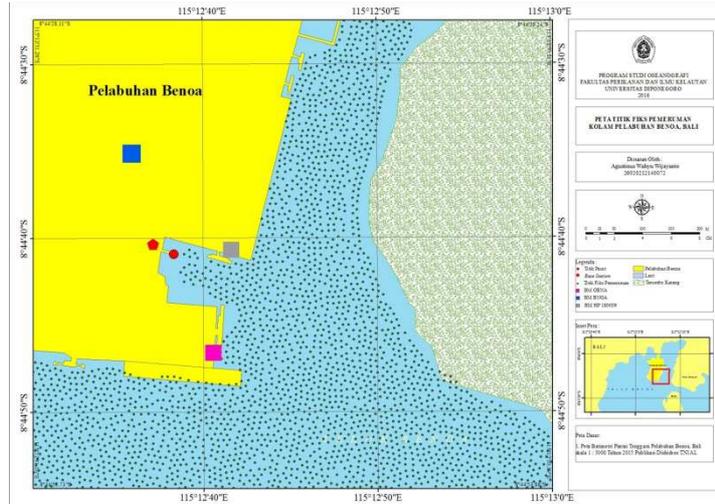
Uji keseimbangan / *patch test* bertujuan untuk memperoleh nilai tertentu yang disebabkan oleh posisi pemasangan transduser terhadap salib sumbu kapal (*offset*) ketika survei batimetri, ditujukan bagi kalibrasi sistem *multibeam echosounder*. Nilai tertentu tersebut berupa koreksi nilai *latency*, *pitch*, *roll*, dan *yaw*. Data *patch test* yang telah diolah menghasilkan nilai *yaw* sebesar 0,5; *pitch* sebesar 0,5; *roll* sebesar -0,25; dan *latency* sebesar -0,05. Gambar grafik *patch test* yang terlihat merupakan gabungan dari beberapa grafik yang terbentuk satu garis, menunjukkan bahwa keseimbangan yang terjadi saat pelaksanaan survei telah terlaksana dengan baik. Grafik yang terbentuk menjadi beberapa garis dalam satu grafik menunjukkan bahwa keseimbangan yang terjadi saat pelaksanaan survei telah terlaksana dengan kurang baik. Berdasarkan nilai sudut yang dipancarkan tidak lebih dari $4,4^{\circ}$, maka pelaksanaan survei batimetri menggunakan alat *multibeam echosounder* memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dan instalasi yang tepat.

Uji validasi data pemeruman menjadi syarat yang mutlak dalam survei batimetri. Hasil uji validasi berfungsi untuk mengetahui tingkat kevalidan dalam pelaksanaan survei. Berdasarkan hasil uji validasi data batimetri yang ditunjukkan melalui Tabel 2, dapat diketahui bahwa pelaksanaan survei tergolong pada orde spesial, sehingga dapat diketahui bahwa pelaksanaan survei telah memenuhi standar IHO untuk area pelabuhan berdasarkan data kedalaman. Apabila data tersebut memiliki tingkat kepercayaan kurang dari 95 %, maka data batimetri tersebut tidak valid, sehingga dapat mempengaruhi kualitas dari pengolahan data batimetri.

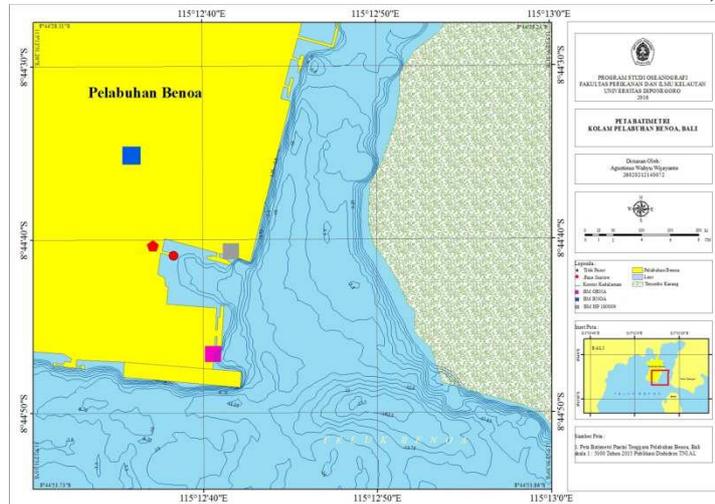
Tabel 2. Hasil Validasi Data Pemeruman.

| Jumlah Data = | Orde | | | Tidak Masuk |
|---------------------|----------|----------|----------|-------------|
| | Spesial | 1A/1B | 2 | |
| 92 | | | | |
| Persentase | 97,83 % | 2,17 % | 0,00 % | 0,00 % |
| Jumlah Data | 90 | 2 | 0 | 0 |
| Tingkat Kepercayaan | 97,83 % | 100 % | 100 % | |
| Keterangan | Memenuhi | Memenuhi | Memenuhi | |

Hasil titik fiks pemeruman berupa titik-titik yang sangat rapat dengan interval jarak tiap titik kedalaman terhadap titik kedalaman lain yaitu 10 m. Melalui peta kontur kedalaman (Gambar 3) terdapat beberapa kedalaman perairan pada saat muka air laut surut terendah (LWS). Berdasarkan garis kontur yang ditampilkan secara 2 dimensi dengan interval 0,5 m diwakili dengan kedalaman -2,5 m LWS; -5 m LWS; -7,5 m LWS; dan -10 m LWS (Gambar 4). Garis kontur batimetri Kolam Pelabuhan Bena, Bali yang dihasilkan memiliki kecenderungan berpola cekungan dengan membentuk membentuk kurva tertutup. Kurva tertutup tersebut menandakan bahwa dasar perairan pada Kolam Pelabuhan Bena berupa pasir dan karang. Menurut BAPPEDA Pemkot Denpasar (2015), jenis sedimen pada Perairan Teluk Bena, Bali yaitu pasir yang bercampur dengan karang.



Gambar 3. Peta Fiks Pemeruman Kolam Pelabuhan Benoa, Bali



Gambar 4. Peta Batimetri Kolam Pelabuhan Benoa, Bali

Kondisi kedalaman pada area keruk yaitu pada kolam dermaga selatan dan kolam dermaga timur memiliki kedalaman -8,44 mLWS hingga -11,59 mLWS dan -4,83 mLWS hingga -10,53 mLWS. Desain kedalaman rencana untuk pelaksanaan pengerukan yaitu -10 mLWS. Melalui desain kedalaman serta kondisi kedalaman pada area keruk maka dapat diketahui bahwa kolam pelabuhan dermaga timur dan selatan cukup berbahaya untuk ditempati oleh kapal dengan *draft* kapal terbesar yaitu -9,1 mLWS.

Pengerukan

Desain kedalaman rencana untuk pengerukan pada kolam dermaga selatan dan kolam dermaga timur memiliki desain yang sama yaitu -10 mLWS dengan *slope* 1:4 dan *siltation rate* sebesar 10%. Perhitungan volume pengerukan menggunakan bantuan *Software AutoCad Civil 3D 2016*. Pada *Software AutoCad Civil 3D 2016*, volume pengerukan diperoleh dengan interpolasi TIN (*Triangulated Irregular Network*). Volume pengerukan yang terdapat pada kolam dermaga timur yaitu sebesar 253.226,336 m³ sedangkan pengerukan yang terdapat pada kolam dermaga timur yaitu sebesar 29.207,717 m³. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa nilai volume pengerukan pada kolam dermaga timur lebih besar dari kolam dermaga selatan dengan nilai, hal ini dikarenakan luas area keruk yang berbeda serta pada area keruk kolam dermaga timur memiliki profil yang lebih dangkal dibandingkan kolam dermaga selatan.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pemeruman, menunjukkan bahwa nilai kedalaman pada area keruk kolam pelabuhan dermaga selatan berkisar antara -8,44 mLWS hingga -11,59 mLWS dan area keruk kolam pelabuhan dermaga timur berkisar antara -4,83 mLWS hingga -10,53 mLWS.
2. Desain kedalaman rencana berdasarkan nilai draft kapal terbesar yaitu -10 mLWS.
3. Volume pengerukan berdasarkan desain kedalaman, slope, penambahan siltation rate dan luas area pada kolam dermaga timur dan kolam dermaga selatan yaitu 253.226,336 m³ dan 14.477,353 m³.

Daftar Pustaka

- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Pemerintah Kota Denpasar, Bali. 2015. Laporan Kajian Teknis Sempadan Pantai Kota Denpasar, Denpasar.
- BSN (Badan Standar Nasional). 2013. Standar Nasional Indonesia (SNI) Survei Batimetri Menggunakan Multibeam Echosounder, Cibinong.
- Dishidros TNI AL. 2015. Operasi Survei Batimetri Alur dan Pelabuhan Bena, Denpasar, Bali. Markas Besar TNI Angkatan Laut Jawatan Hidro-Oseanografi, Jakarta.
- Poerbandono dan E. Djunarsjah. 2005. Survey Hidrografi. Refika Aditama, Bandung, 166 hlm.
- Tjasyono, B. 2006. Ilmu Kebumihan dan Entariksa. Rosdakarya, Bandung.
- Triatmodjo, B. 2010. Perencanaan Pelabuhan. Beta Offset, Yogyakarta, 490 hlm.