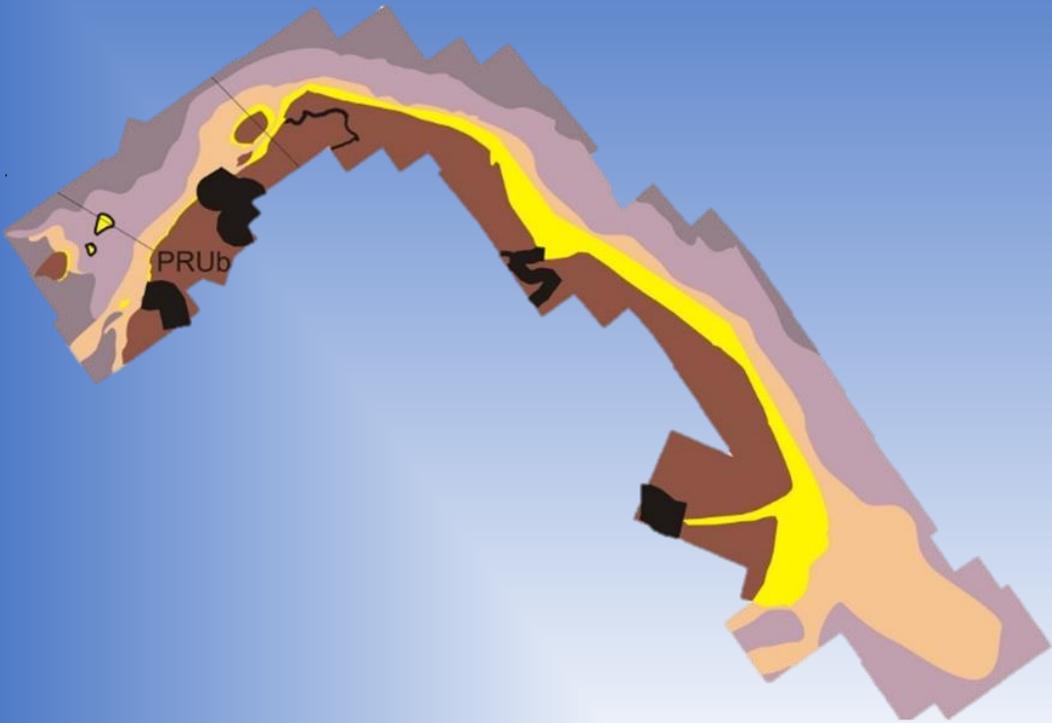


Assoc. Prof. Husnul Kausarian, Ph.D



Survey Geologi untuk Eksplorasi Pasar Mineral di Daerah Perairan



Assoc. Prof. Husnul Kausarian, Ph.D adalah salah seorang dosen di Program Studi Teknik Geologi, Universitas Islam Riau. Beliau merupakan putra asli Riau kelahiran 14 Februari 1986. Pendidikan dasar, menengah pertama dan menengah atas diselesaikan di Riau. Pendidikan terakhir adalah doktor dengan konsentrasi geologi satelit dan penginderaan jauh di Chiba University, Jepang -

yang diselesaikan pada tahun 2017 dengan prediket summa cumlaude dan mendapatkan penghargaan sebagai wisudawan terbaik yang diikuti dengan prestasi lain sebagai dosen sains eksakta terbaik Universitas Islam Riau dan LLDIKTI X pada tahun 2018. Setelah menyelesaikan studi doktoral dan kembali aktif sebagai dosen, Penulis banyak melakukan kegiatan penelitian yang melibatkan kolaborasi dari banyak pihak, mulai dari skala lokal, nasional hingga internasional. Tercatat beberapa pemerintah daerah seperti pemerintah kabupaten dan kota, pemerintah pusat dan rekan kerja dari negara luar seperti Jepang, China hingga Eropa telah menjalin kerjasama dengan Penulis.

Penulis memiliki ketertarikan riset di bidang kebumihan dan geologi dengan fokus pada pengembangan geosains hingga penginderaan jauh. Beberapa hasil penelitian yang dilakukan telah dibentangkan pada seminar / konferensi dari tingkat nasional hingga internasional dan telah mempublikasikan karya-karya ilmiah lainnya pada jurnal nasional, internasional yang bereputasi. Selain aktif di dunia akademik, Penulis juga aktif di dunia organisasi dan sosial lainnya.



2020

ISBN 978-979-3793-90-0



9 789793 793900

Survey Geologi untuk Eksplorasi Pasir Mineral di Daerah Perairan

Husnul Kausarian, Ph.D

Penerbit:



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

Survey Geologi untuk Eksplorasi Pasir Mineral di Daerah Perairan

Penulis: Assoc. Prof. Husnul Kausarian, Ph.D

ISBN: 9-789793-793900

Editor: Prof. Josaphat Tetuko Sri Sumantyo

Penyunting: Ir. Fakhrunnas MA Jabbar, M.I.Kom

Desain sampul dan Tata Letak: Tim Layout

Penerbit: Universitas Islam Riau (UIR) Press

Redaksi:

Gedung Serba Guna Universitas Islam Riau

Jl. Kaharuddin Nasution No. 113

Marpoyan 28284, Pekanbaru, Riau, Indonesia

Telp: (0761) 674674

Fax: (0761) 674834

Email: uirpress@uir.ac.id

Cetakan Pertama, 2020

Hak Cipta dilindungi undang-undang;

Dilarang keras mengutip, menjiplak, memfotokopi atau memperbanyak dalam bentuk apapun, baik sebagian atau keseluruhan isi buku ini serta memperjual belikannya tanpa izin tertulis dari **Penerbit UIR Press**.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur ke hadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, nikmat, karunia dan rezeki Nya yang berlimpah, penulis masih diberikan kesempatan untuk menghasilkan karya tulis yang tertuang dalam buku ini. Buku ini ditulis berdasarkan penelitian yang penulis laksanakan selama beberapa tahun yang melibatkan banyak peneliti dan pihak yang mendukung yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Tentu saja penelitian ini masih perlu disempurnakan oleh pihak lain di masa yang akan datang, sehingga ungkapan terima kasih adalah hal yang pertama penulis ucapkan buat semua pihak yang terlibat sehingga terciptanya buku ini.

Buku ini membahas teknik eksplorasi yang bisa diterapkan untuk mencari keberadaan pasir mineral yang ada di wilayah perairan, terutama di bagian batuan yang terdapat di dasar perairan maupun hasil pengendapan bahan sedimen yang terdapat di bagian dasar perairan, baik itu di kawasan sungai, muara maupun di bagian laut. Seiring dengan perkembangan zaman, kemajuan teknologi dan temuan-temuan baru tentang kegunaan dari sumberdaya mineral, maka ditemukan pula kenyataan bahwa pasir mineral di daerah perairan yang sedianya dianggap sebagai hal yang biasa, kini sudah berubah menjadi hal yang bernilai pada jenis-jenis pasir mineral tertentu. Sebagai contoh, pasir mineral terbukti sebagai bahan dasar energi, terutama energi ramah lingkungan, atau istilah saat ini; energi baru dan terbarukan, sehingga pencarian/eksplorasi pasir mineral saat ini sedang digalakkan optimalisasinya. Semangat pencarian sumber mineral bernilai ini sejalan dengan keinginan dan perencanaan pemerintah untuk memaksimalkan dan mengoptimalkan semua potensi sumberdaya alam yang tentunya akan dapat dimanfaatkan buat kepentingan rakyat Indonesia di masa yang akan datang.

Terakhir, tentunya penulis berharap, kehadiran buku ini bisa menambah khazanah keilmuan yang bisa bermanfaat buat semua pihak. Terima kasih.

Pekanbaru, Desember 2020

Husnul Kausarian, Ph.D

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal.
Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
I. Pendahuluan	1
A. Maksud dan Tujuan	4
B. Kegunaan Pasir Mineral yang Bersumber dari Perairan	5
II. Metode Eksplorasi	13
A. Metode Eksplorasi Mineral Laut	14
B. Sistem Seismik	24
C. Sumber Sinyal Seismik	25
D. Sedimen Dasar Laut	26
III. Pengolahan Data Survei	29
A. Konversi Format Data	29
B. Pengolahan Sistem Koordinat	30
C. Pemodelan Batimetri	31
D. Penentuan Batas dan Lapisan Batuan	31
E. Pemodelan Grid	33
F. Penyusunan Hasil Pemodelan	33
G. Penyatuan Jalur <i>Side Scan Sonar</i>	34
H. Pengolahan Data SIG (Sistem Informasi Geografis)	34
I. Bagan Alir Penggunaan Metode dan Pengolahan Data	34

IV. Aplikasi dan Pelaksanaan Survei Mineral	
Laut	36
A. Model Permukaan Dasar Laut	36
B. Profil Lapisan Batuan	53
C. Analisa SIG Terhadap Sebaran Pasir Mineral	71
D. Kawasan Observasi Pasir Mineral	75
V. Penutup	95
VI. Referensi	96

I

Pendahuluan

Pasir mineral merupakan salah satu bahan galian yang cukup melimpah di Indonesia. Hal ini dimungkinkan akibat kondisi Indonesia yang hampir setengahnya berupa batuan beku asam maupun basa sebagai sumber pembentuk bahan galian tersebut. Pasir mineral banyak ditemukan di daratan maupun perairan. Di daerah perairan kelimpahan dari pasir mineral ini terdapat pada daerah pesisir sungai, danau, pantai dan sebagian pada lautan yang dangkal. Mineral ini memegang peranan cukup penting bagi industri, baik sebagai bahan baku utama maupun sebagai bahan ikutan. Sebagai bahan baku utama, Pasir mineral dimanfaatkan oleh industri manufaktur untuk menghasilkan produk yang dapat dimanfaatkan oleh konsumen terutama untuk bahan bangunan dan bahan utama pada disain interior/eksterior serta bahan untuk kebutuhan rumah tangga. Sementara sebagai bahan ikutan, Pasir mineral dimanfaatkan untuk bahan cetakan pada pengecoran logam, bahan refraktori dan sebagai bahan penSIGi pada industri pertambangan dan perminyakan terutama saat melakukan kegiatan pengeboran.

Seiring dengan keadaan kondisi ekonomi Indonesia saat ini, perkembangan Pasir mineral berkembang sangat pesat mulai dari

1998 hingga saat ini. Dalam kegiatan industri, penggunaan Pasir mineral sudah berkembang meluas, sebagai bahan baku utama, misalnya digunakan dalam industri gelas kaca, semen, tegel, mosaik keramik, bahan baku fero silikon, silikon carbide bahan abrasit (ampelas dan sand blasting). Sedangkan sebagai bahan ikutan, misal dalam industri cor, industri perminyakan dan per-tambangan, bata tahan api (refraktori), dan lain sebagainya.

Selain bisa dimanfaatkan dalam aktifitas industri seperti pertambangan, potensi lain dari pasir mineral adalah dengan menjadikan kawasan sebaran pasir mineral menjadi kawasan konservasi dengan menjadikannya sebagai pengembangan kawasan industri pariwisata.

Dalam melakukan pemetaan terhadap kawasan sebaran pasir mineral yang terdapat di perairan, perhitungan yang matang untuk melakukan aktifitas industri-industri ini sangat diperlukan, terutama untuk mengetahui jumlah, sebaran dan volume pasir mineral tersebut, salah satunya adalah dengan pendekatan pemetaan geologi seperti pemetaan seismik untuk mendapatkan hitungan jumlah, sebaran dan volume Pasir mineral ini secara pasti.

Peta geologi pada dasarnya merupakan suatu sarana untuk menggambarkan tubuh batuan, penyebaran batuan, kedudukan unsur struktur geologi dan hubungan antar satuan batuan serta merangkum berbagai data lainnya. Peta geologi juga merupakan gambaran teknis dari permukaan bumi dan sebagian bawah

permukaan yang mempunyai arah, unsur-unsurnya yang merupakan gambaran geologi, dinyatakan sebagai garis yang mempunyai kedudukan yang pasti.

Hakikat dari pemetaan geologi adalah menampilkan segala macam kondisi geologi yang ada dilapangan (yang bersifat tiga dimensional) kedalam peta (yang bersifat dua dimensional). Gejala geologi yang nampak pada lapangan terutama dalah batuan, urutan batuan, struktur batuan serta bangun bentang alam yang dibangun oleh batuan tersebut.

Pemetaan geologi memiliki beberapa tujuan yang menjadi alasan kenapa dilakukan yaitu:

- i. Memberikan gambaran tentang gejala dan proses geologi yang ada/terjadi pada daerah yang dipetakan,
- ii. Memberikan tafsiran kondisi dan proses geologi apa saja yang pernah terjadi didaerah yang dipetakan sepanjang zaman geologi terhitung sejak terbentuknya batuan yang tertua di daerah pemetaan sampai saat pemetaan berlangsung,
- iii. Memberikan evaluasi potensi geologi yang bersifat positif dan negative yang ada atau mungkin ada sehingga daerah yang dipetakan dapat dikembangkan secara bijaksana ditinjau dari sudut pandang geologi.

Secara umum, pemetaan geologi lengkap untuk mengetahui sebaran, luas dan volume Pasir mineral adalah dengan menggunakan

metode pemetaan SIG dan seismik, dimana pemetaan SIG dapat mengetahui secara pasti sebaran dan luas area yang memiliki Pasir mineral dan metode seismik dapat mengetahui secara pasti kedalaman Pasir mineral tersebut.

Dasar laut adalah bagian dari bumi yang wilayahnya belum terjelajahi secara keseluruhan, baik luas, kedalaman maupun potensinya. Di dasar laut terdapat sumber daya alam yang penting bagi kehidupan manusia. Sumber daya alam yang paling dikenal dan dasar laut adalah sumber daya bernilai ekonomis seperti minyak dan gas bumi serta mineral, sementara sumber daya lain seperti biota laut dalam juga sangat potensial namun masih sulit belum dimanfaatkan secara maksimal.

Karena beragamnya kepentingan manusia di dasar laut maka bidang pemetaan dasar laut sangat diperlukan untuk memudahkan manusia dalam penggunaan laut. Salah satu cara untuk mendapatkan informasi tentang berbagai aspek dari dasar laut adalah dengan sistem seismik/akustik bawah laut.

A. Maksud dan Tujuan

Maksud dari pembahasan di buku ini adalah untuk melakukan / melaksanakan survei geologi yang berguna untuk mengetahui cara sebaran pasir mineral dengan mengambil beberapa titik lokasi sebagai sampel dari sebaran pasir mineral. Sebagai daerah penelitian yang bisa dijadikan studi kasus, penulis telah melakukan penelitian di Provinsi Riau, tepatnya di Pulau Rupat bagian utara serta beberapa

daerah lainnya yang hasilnya memiliki tujuan untuk mendapatkan informasi dan data mengenai karakterisasi dan penyebaran pasir mineral yang dapat digunakan sebagai data dasar dalam pengembangan pemanfaatan sumber daya alam baru dan terbarukan.

B. Kegunaan Pasir Mineral yang Bersumber dari Perairan

Dalam kegiatan industri, penggunaan pasir mineral sudah berkembang meluas, baik langsung sebagai bahan baku utama maupun bahan ikutan.

Sebagai bahan baku utama, misalnya digunakan dalam industri gelas kaca, semen, tegel, mosaik keramik, bahan baku fero silikon, silikon carbide bahan abrasit (ampelas dan sand blasting). Sedangkan sebagai bahan ikutan, misal dalam industri cor, industri perminyakan dan per-tambangan, bata tahan api (refraktori), dan lain sebagainya. Beberapa kegunaan pasir mineral laut antara lain:

1. Industri Pertambangan dan Perminyakan

Pemanfaatan pasir mineral pada industri pertambangan dan perminyakan (pemboran) adalah sebagai filter yang lebih dikenal dengan istilah gravel pack sand (GPS).

Ukuran kekuatan pasir mineral ditentukan oleh uji resistansi parameter kekuatan yang ditentukan berdasarkan kedalaman pemboran dan tekanan yang akan diderita oleh pasirkuarsa tersebut.

Persyaratan ukuran pasir mineral yang memenuhi standar untuk dipakai sebagai GPS.

Persyaratan lain yang dibutuhkan untuk GPS adalah Sphericity dan Roundnes.

Secara umum, apabila bentuk butir pasir mineral mendekati bulat dan tidak memiliki sudut harga pasir mineral tersebut semakin tinggi. GPS pada Industri Penambangan dan Perminyakan dimanfaatkan sebagai penahan material-material yang dapat menyumbat alat saring yang dipasang pada selubung atau pipa pemboran.

Disamping itu, GPS berfungsi untuk memperbesar permeabelitas formasi, sehingga aliran air atau minyak dari formasi yang semula berbentuk radial bertekanan tinggi menjadi linier yang bertekanan rendah. GPS ini ditempatkan antara alat saring dengan dinding sumur.

2. Industri Semen

Pasir mineral pada pembuatan semen berfungsi sebagai pelengkap kandungan silika dalam semen yang dihasilkan. Kandungan silika untuk pabrik semen berkisar 21,3% SiO_2 . Apabila komposisi SiO_2 belum tercapai ditambahkan pasir mineral. Pemakaian pasir mineral di industri ini bervariasi tergantung kandungan silika bahan baku lainnya, biasanya berkisar antara 6 hingga 7 %.

3. Industri Keramik

Pada industri keramik, pasir mineral merupakan pembentuk badan keramik bersama dengan bahan baku lain, seperti kaolin, lempung, feldspar, dan bahan pewarna. Pasir mineral ini umumnya pembentuk sifat glazur pada badan keramik, sehingga berbentuk licin dan mudah untuk dibersihkan. Selain itu, pasir mineral mempunyai sifat sebagai bahan pengurus yang dapat mempermudah proses pengeringan, pengontrolan, penyusutan, dan memberi kerangka pada badan keramik. Bahan keramik terdiri atas bahan anorganik bukan logam berfasa kristalin dan campuran logam yang proses produksinya memerlukan adanya pemanasan suhu tinggi. Berdasarkan fungsi dan strukturnya, keramik yang dihasilkan dibagi menjadi dua tipe, yaitu cara konvensional dan modern.

Secara umum, cara konvensional menggunakan bahan-bahan alam dari fasa amorf setelah pengolahan dan ada juga tanpa pengolahan. Ada dua golongan industri yang termasuk keramik konvensional, yaitu Industri keramik berat yang terdiri atas industri semen, mortar, refraktori, abrasif, dan industri khusus dan Industri keramik halus, yaitu gerabah/keramik hias, ubin lantai dan dinding, saniter, peralatan makan-minum (table ware), isolator listrik, alat dapur, keramik teknik, lampu pijar, botol dan gelas.

Industri keramik maju biasanya menggunakan bahan baku artifisial murni yang mempunyai fasa kristalin. Produk keramik maju yang dipasarkan di dunia, antara lain jenis zirkonia dan sialon di industri otomotif (blok mesin, gear), mata pisau dan gunting, barium

titanat pada industri elek-tronika (kapasitor, resistor), keramik nir-oksida (zirkon nitrida, magnesium nitrida, silikon karbida, silikon nitrida) digunakan untuk high technology kiln furniture, cutting tools, komponen mesin, alat ekstraksi dan pengolahan logam dan fibre optic di industri telekomunikasi, gedung pencakar langit, penerangan, dan tenaga surya.

Secara umum, bagian badan keramik terdiri atas dua bagian, yaitu badan yang memberi bentuk kekuatan, dan sebagai penutup badan (glazuur) sehingga tampak lebih indah dan, menarik, serta mudah dibersihkan. Pasir mineral merupakan bagian yang membentuk glazuur.

Persentase penggunaan pasir mineral dalam keramik tergantung dari jenis dan kegunaan produkannya. Pasir mineral memiliki peran penting sebagai pembentuk badan keramik karena mempunyai fungsi sebagai pengontrol pada saat proses sebelum dan sesudah pembakaran. Sebagai fungsi kontrol, pasir mineral harus memenuhi persyaratan standar seperti yang diungkapkan oleh Kajian Keramik, PPTM, 1994 yang meliputi:

- i. Bahan Persentase Pasir mineral (%)
- ii. Semi Porselin 10 – 20
- iii. Bone China 3 – 14
- iv. Porselin Pemakai Lokal Hotel Barang Tahan Panas 20,7 - 32,2 19,6 - 27,0 12,3 - 23,0
- v. Saniter Eropa Amerika 30 25
- vi. Stone Ware Eropa Amerika 30 25

4. Industri Gelas dan Kaca

Proses akhir pengolahan pasir mineral menjadi gelas dan kaca, yaitu dengan jalan meleburkannya bersama bahan-bahan lain seperti soda dan kapur dalam tungku peleburan. Sebagai bahan pembentuk gelas kontribusi silica (SiO_2) sangat dominan. Unsur lain seperti soda (Na_2O) dimanfaatkan dalam proses pencairan, sedangkan kapur (CaO dan MgO) berfungsi sebagai stabilisator ketika proses pencairan dan pembentukan kembali gelas dan kaca tersebut. Biasanya, pada saat pengolahan ditambahkan belerang untuk membantu pelunakan gelas ketika dicairkan. Untuk proses pembuatan gelas yang berkualitas tinggi perlu ditambahkan aluminium oksida (Al_2O_3) dan B_2O_3 untuk menambah ketahanan gelas.

Sebagai bahan pewarna, pada saat pengolahan ditambahkan juga dengan oksida-oksida lain seperti besi, kobal, khrom, tembaga dan nikel.

Persyaratan pasir mineral untuk industri gelas dan kaca mutlak diperlukan terutama komposisi kimia dan distribusi ukuran butir. Komposisi kimia tersebut tergantung dari jenis gelas yang akan dibuat serta harus dapat menjamin syarat kemurnian minimum, juga pembatasan pada pengotor yang mempengaruhi kandungan pasir mineral yang akan dipakai, karena pengotor yang tidak diinginkan akan mengganggu proses pengolahannya. misalnya ketika yang diinginkan adalah kaca atau gelas yang bening, maka besarnya oksida besi akan mengganggu terbentuknya warna bening dari hasil produksinya. Oleh karena itu untuk mendapatkan kaca putih dan

bening, dibutuhkan kandungan oksida logam yang rendah dan kemurnian silika yang tinggi.

Persyaratan dan standar umum yang biasa digunakan perusahaan gelas dan kaca untuk membeli pasir mineral diperlihatkan.

Beberapa perusahaan industri gelas membuat klasifikasi pasir mineral menjadi dua jenis komposisi yaitu pasir putih dan pasir kuning dengan komposisi.

Proses peleburan pasir mineral merupakan proses perubahan berbagai bahan baku menjadi adonan cair yang homogen, sehingga ukuran fraksi menjadi sangat penting. Persyaratan British Standard Screens untuk pasir putih adalah mesh +28 maksimal 2%, +35 maksimal 10% dan -150 maksimal 1%. Sementara pasir kuning adalah mesh +25 maksimal 2%, +36 maksimal 10% dan -150 maksimal 1%.

Khusus bidang arsitektur bangunan, penggunaan kaca sebagai pelengkap utama dalam menata disain interior dan eksterior sudah sangat meluas, yaitu kaca bangunan, kaca balok, kaca gelombang, keperluan kombinasi sinar laser dan difusi, gelas fiber pengatur sound systems pada gedung pertunjukan, binokuler (melihat jelas objek pandang), kaca mata dan lain sebagainya. Untuk menghasilkan kaca berkualitas diperlukan pengolahan yang berteknologi tinggi.

Berdasarkan bentuk dan kegunaan, kaca lembaran dibedakan menjadi dua jenis, yaitu jenis polos atau bening dan jenis berpola.

Sekarang, kedua jenis ini sudah dikembangkan dengan teknologi maju karena banyak permintaan di pasaran. Jenis kaca polos dilakukan dengan proses pengambangan cairan kaca di atas cairan logam. Sifat istimewa kaca polos memiliki permukaan yang rata di dua sisi, sejajar sempurna, dan bebas distorsi, baik untuk bayangan langsung maupun pantul, benda yang ada dibalik kaca akan terlihat terang dan jernih karena kaca ini bersifat transparansi dan transmitansi tinggi, permukaan lebih berkilau daripada kaca plat poles karena dipoles dengan api, tebal kaca dapat sampai 19 mm dengan dimensi lebih besar sehingga memudahkan perencanaan dinding kaca yang besar. Biasanya, kaca polos dipakai dalam pekerjaan disain interior dan eksterior rumah, pusat perbelanjaan, perkantoran, etalase toko dan lain sebagainya.

Kaca berpola merupakan kaca yang proses pembuatannya dilakukan dengan membubuhkan zat warna berupa senyawa oksida logam ke dalam cairan kaca yang sedang diproses. Keuntungan penggunaan kaca berpola ini dapat mengurangi panas dan cahaya yang menyilaukan, serta mempunyai daya tembus pandang rendah sekali yang memberi rasa nyaman bagi yang ada di dalam ruangan. Kaca jenis ini sangat bermanfaat untuk disain interior dan eksterior rumah, perkantoran, pusat perbelanjaan dan lain sebagainya.

Selain itu, beberapa jenis kaca dibuat secara khusus, seperti kaca tanpa pantul yang biasanya digunakan untuk industri optikal dan laboratorium, kaca tahan kimia untuk industri kemasan botol dan obat-obatan, dan berbagai jenis kaca yang diproses berteknologi tinggi seperti untuk industri pesawat terbang, pemotongan optis dan lain sebagainya.

5. Industri Pengecoran dan Bata Tahan Api

Pemanfaatan pasir mineral dalam industri pengecoran, karena memiliki titik leleh lebih tinggi dari logam. Fungsi pasir mineral di industri ini adalah sebagai pasir cetak dan foundry. Kondisi pasir mineral untuk pasir cetak perlu kriteria khusus, seperti penyebaran dan kehalusan butir, bentuk butir, bulk density, base permeability dan titik mensinter, kadar lempung, tempering water, kuat tekan, kuat geser, dan permeabilitas. Pasir mineral pada industri bata tahan api dipakai untuk pembentuk konstruksi bata.

6. Industri manufaktur Lainnya

Pemakaian pasir mineral pada industri lainnya, yaitu sebagai bahan pengeras pada pengolahan karet, bahan penSIGi (industri cat), bahan ampelas (industri gerinda), bahan penghilang karat (industri logam), bahan penyaring (industri penjernihan air), bahan baku dalam pembuatan ferro silicon carbide, dan lainnya, seperti dalam industri microchip (elektronika).

II

Metode Eksplorasi

Untuk mengetahui potensi serta kualitas cadangan pasir mineral dilakukan kegiatan eksplorasi yang meliputi proses pemetaan udara, pemetaan topografi, pemetaan geologi, penyelidikan geofisika serta dilanjutkan dengan pemboran atau dengan sumur uji. Metode geofisika yang tepat untuk endapan pasir mineral ini umumnya menggunakan cara tahanan jenis, karena kondisi endapan pasir mineral relatif homogen dan cenderung sejajar dengan permukaan.

Kualitas dan cadangan didasarkan kepada pengambilan contoh pasir mineral melalui pemboran atau dengan sumur uji. Bila sudah diketahui tebal dan luas cadangan pasir mineral ini, maka akan dapat diprediksi besar potensi cadangannya. Proses perhitungan cadangan ini dapat dilakukan dengan metode *Inverse Distance Square (IDS)* atau dengan dihitung secara kasar dengan mengalikan luas dengan tebal lapisan.

Pada saat ini perangkat lunak untuk perhitungan tersebut cukup banyak ditemukan di pasaran seperti menggunakan perangkat lunak Surfer, Surpac, Datamine atau micromine.

Setelah diketahui besarnya cadangan, maka dilanjutkan dengan uji laboratorium untuk mengetahui kualitas pasir mineral pada daerah tersebut. Bila sudah tahu informasi semuanya, maka dapat dilakukan perhitungan dan analisis untuk mengetahui prospek dan pemanfaatan yang sesuai dari cadangan tersebut.

A. Metode Eksplorasi Mineral Laut

1. Metode SIG (*Sistem Informasi Geografis*) dan Foto Udara

Aplikasi penginderaan jauh dan SIG dalam eksplorasi mineral memiliki banyak keuntungan, antara lain cakupan wilayahnya luas, hemat biaya, data yang mudah diperbaharui (up date) dan memungkinkan integrasi dengan berbagai jenis data satelit, geofisika, geokimia, Digital Elevation Model (DEM), dan sebagainya. Sehingga proses analisa semakin efisien, cepat, dan akurasi yang meningkat.

Sistem informasi geografis (SIG) dapat menyajikan informasi penting tentang laut. Berbagai pihak dan berbagai tatar belakang seperti transportasi, lingkungan, industri dan usaha, ilmu pengetahuan dan teknologi, serta pertahanan memerlukan data-data spasial kelautan (Green dan King, 2003). Navigasi, pencegahan polusi, jalur perdagangan, kepentingan ekstraksi minyak dan gas, juga pengembangan berbagai senjata sangat bergantung pada sistem dasar laut dan segala potensinya dapat di telusuri dengan lebih baik melalui SIG. Perhitungan luasan, jarak dan volume yang merupakan faktor penting dalam eksplorasi kelautan dapat disajikan dan

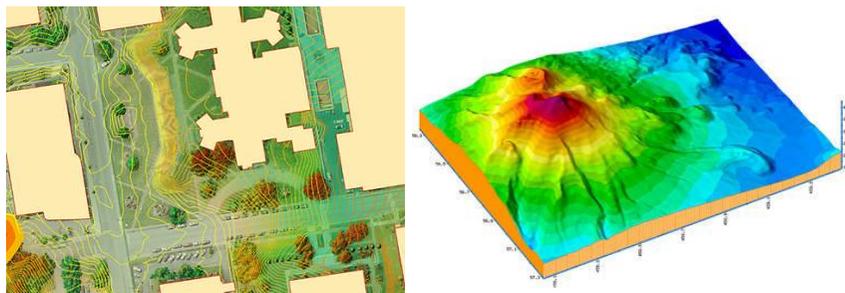
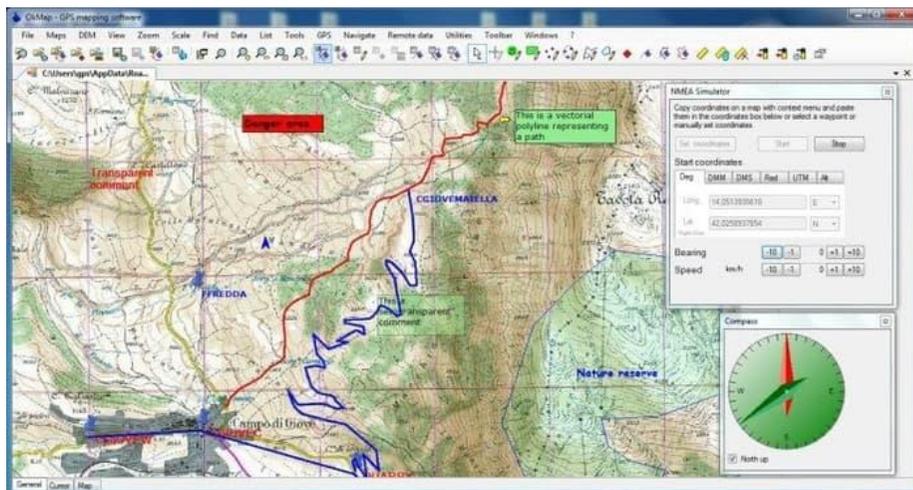
diinterpretasikan dengan lebih mudah menggunakan SIG (Green dan King, 2003).

Penggunaan penginderaan jauh dalam eksplorasi banyak diaplikasikan antara lain, pemetaan lithologi, struktur, dan alterasi. Pemetaan lithologi merupakan pemetaan sumberdaya mineral, dengan menarik kesimpulan dari beberapa parameter utama yang diperoleh melalui observasi penginderaan jauh, seperti mengidentifikasi nilai spektral batuan, penampakan struktural, pelapukan dan bentuk daratan (*landform*), serta pola aliran sungai. Pemetaan struktur didasarkan pada hubungan antara deposit mineral dengan beberapa tipe deformasi, seperti patahan, lipatan atau struktur geologi lainnya. Sedangkan pendekatan alterasi merupakan teknik pemetaan mineral yang mengasosiasikan deposit mineral dengan alterasi hidrothermal dan batuan sekitar, jenis dan luasnya zona alterasi menggambarkan tipe dari deposit mineral. Distribusi spasial dari batuan hasil alterasi hidrothermal merupakan kunci utama untuk mengetahui zona aliran dari hidrothermal dan sebagai petunjuk penting untuk mengenali deposit mineral.

Identifikasi sebaran pasir mineral melalui teknologi penginderaan jauh dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan alterasi, yaitu dengan memetakan mineral permukaan hasil lapukan batuan yang berupa pasir mineral. Pemilihan metode SIG (Gambar 1) yang sesuai adalah sangat diperlukan berdasarkan karakteristik wilayah, terutama untuk wilayah tropis yang bervegetasi rapat,

sehingga menjadi hambatan tersendiri dalam mendeteksi deposit mineral.

Teknik yang digunakan dalam metode SIG haruslah teknik penajaman yang dilakukan dengan menggabungkan dua rasio saluran yang akan menghasilkan sebaran mineral permukaan yang digambarkan dalam citra skala keabuan (*grayscale*). Penggunaan metode ini menunjukkan kemampuan teknik tersebut untuk mengidentifikasi keberadaan pasir mineral yang berada di daerah bervegetasi dan kompleks. Kemudian untuk menguji tingkat akurasi, hasil pencitraan akan diverifikasi dengan data titik bor.



Gambar 1. Atas: Pengolahan Data SIG menggunakan *software* Desktop OkMap 13.9.0 (sumber: <https://www.okmap.org>), Bawah: Hasil Interpretasi Wilayah Pemetaan Menggunakan Metode SIG (sumber: <http://www.symphonygeo.com>).

2. Metode Seismik

Metode seismik (Gambar 2) adalah salah satu metode eksplorasi yang didasarkan pada pengukuran respon gelombang seismik (suara) yang dimasukkan ke dalam tanah dan kemudian direfleksikan atau direfraksikan sepanjang perbedaan lapisan tanah atau batas-batas batuan. Sumber seismik biasanya menggunakan ledakan/getaran yang menyebabkan adanya gerakan gelombang di dalam medium (tanah/batuan) umumnya adalah palu godam (sledgehammer) yang dihantamkan pada pelat besi di atas tanah, benda bermassa besar yang dijatuhkan atau ledakan dinamit. Respons yang tertangkap dari tanah diukur dengan sensor yang disebut geofon, yang mengukur pergerakan bumi. Gelombang akan mengalami pemantulan ataupun pembiasan ke segala arah akibat munculnya perbedaan kecepatan yang nantinya pada jarak tertentu, gerakan partikel tersebut direkam sebagai fungsi waktu. Berdasarkan data rekaman inilah dapat 'diperkirakan' bentuk lapisan/struktur di dalam tanah.

Setelah usikan berupa ledakan/getaran diberikan, terjadi gerakan gelombang di dalam medium (tanah/batuan) yang memenuhi hukum-hukum elastisitas ke segala arah dan mengalami pemantulan ataupun pembiasan akibat munculnya perbedaan kecepatan. Kemudian, pada suatu jarak tertentu, gerakan partikel tersebut di rekam sebagai fungsi waktu. Berdasar data rekaman inilah dapat diperkirakan bentuk lapisan/struktur di dalam tanah.

Terdapat dua macam metode dasar seismik yang sering digunakan, yaitu seismik refraksi yang menggunakan teknik gelombang bias dan seismik refleksi yang menggunakan teknik gelombang pantul.

a. Seismik Refraksi

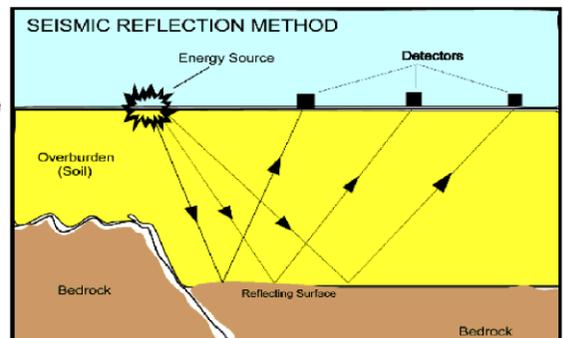
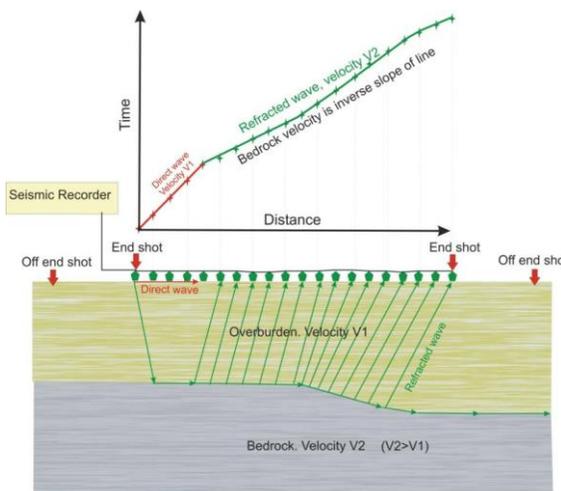
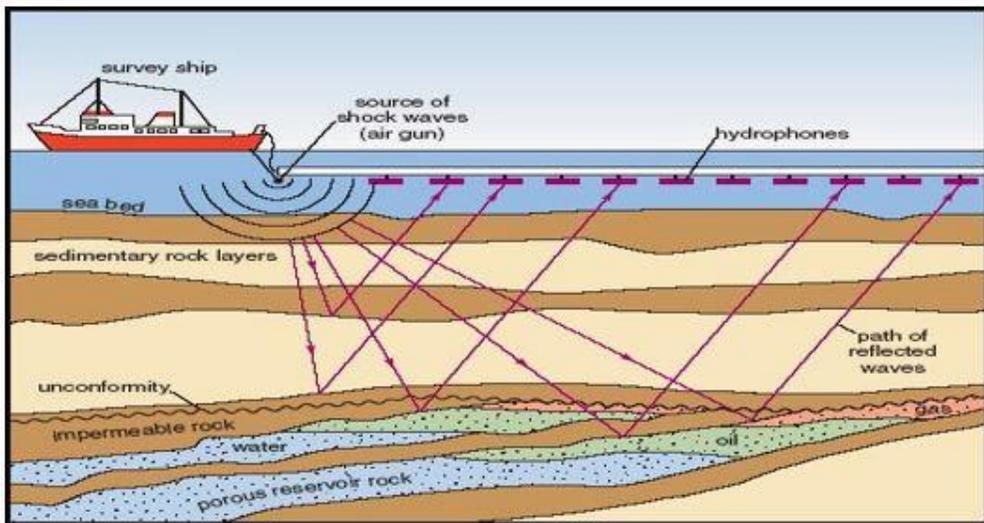
Metode seismik refraksi mengukur gelombang datang yang dipantulkan sepanjang formasi geologi di bawah permukaan tanah. Peristiwa refraksi umumnya terjadi pada muka air tanah dan bagian paling atas formasi bantalan batuan cadas. Grafik waktu datang gelombang pertama seismik pada masing-masing geofon memberikan informasi mengenai kedalaman dan lokasi dari horison-horison geologi ini. Informasi ini kemudian digambarkan dalam suatu penampang silang untuk menunjukkan kedalaman dari muka air tanah dan lapisan pertama dari bantalan batuan cadas.

Seismik bias dihitung berdasarkan waktu jalar gelombang pada tanah/batuan dari posisi sumber ke penerima pada berbagai jarak tertentu. Pada metode ini, gelombang yang terjadi setelah usikan pertama (first break) diabaikan, sehingga sebenarnya hanya data first break saja yang dibutuhkan.

Parameter jarak (offset) dan waktu jalar dihubungkan oleh sepat rambat gelombang dalam medium. Kecepatan tersebut dikontrol oleh sekelompok konstanta fisis yang ada di dalam material dan dikenal sebagai parameter elastisitas.

b. Seismik Refleksi

Metode seismik refleksi mengukur waktu yang diperlukan suatu impuls suara untuk melaju dari sumber suara, terpantul oleh batas-batas formasi geologi, dan kembali ke permukaan tanah pada suatu geophone. Refleksi dari suatu horison geologi mirip dengan gema pada suatu muka tebing atau jurang.



Gambar 2. Atas: Pelaksanaan Metode Seismik di Laut (sumber: <https://indogeoloSIGt.blogspot.com/>), Bawah: Metode Seismik Refraksi; kiri (sumber: <http://seismik-indonesia.blogspot.com/>), Metode Seismik Refleksi; kanan (sumber: <https://www.dictio.id/>).

Metode seismik refleksi banyak dimanfaatkan untuk keperluan eksplorasi perminyakan, penentuan sumber gempa ataupun mendeteksi struktur lapisan tanah. Seismik refleksi hanya mengamati gelombang pantul yang datang dari batas-batas formasi geologi. Gelombang pantul ini dapat dibagi atas beberapa jenis gelombang yakni: Gelombang-P, Gelombang-S, Gelombang Stoneley, dan Gelombang Love.

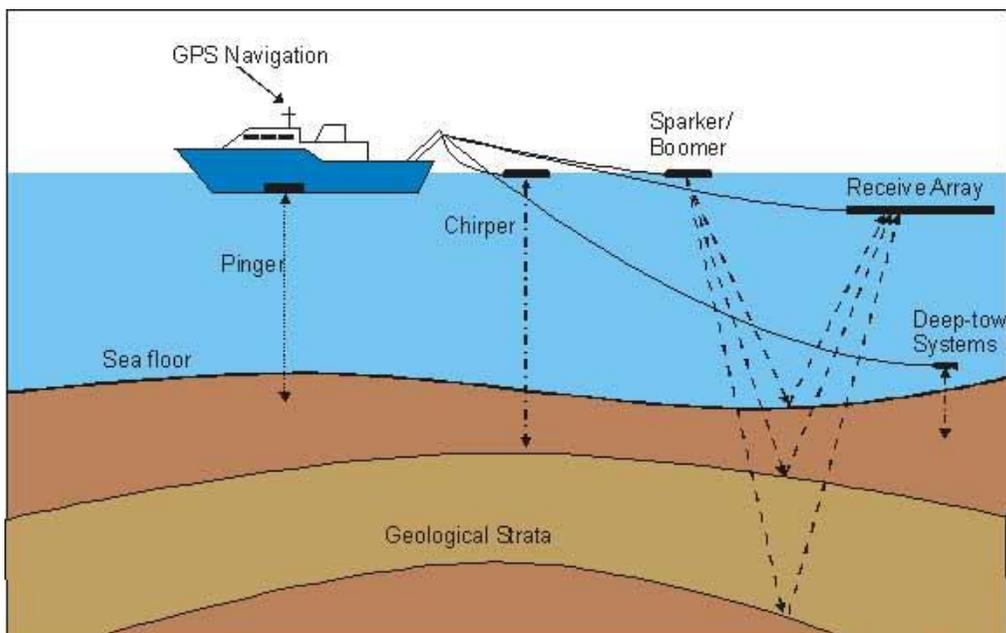
Sedangkan dalam seismik pantul, analisis dikonsentrasikan pada energi yang diterima setelah getaran awal diterapkan. Secara umum, sinyal yang dicari adalah gelombang-gelombang yang terpantulkan dari semua interface antar lapisan di bawah permukaan. Analisis yang dipergunakan dapat disamakan dengan *echo sounding* pada teknologi bawah air, kapal, dan sistem radar. Informasi tentang medium juga dapat diekstrak dari bentuk dan amplitudo gelombang pantul yang direkam. Struktur bawah permukaan dapat cukup kompleks, tetapi analisis yang dilakukan masih sama dengan seismik bias, yaitu analisis berdasar kontras parameter elastisitas medium.

3. *Sub-bottom Profiler*

Sub-bottom profiler (Gambar 3) adalah hasil perkembangan dan sistem seismik yang dapat menembus ke dalam dasar laut dan menampilkan struktur lapisan di bawah dasar laut. Sub-bottom profiler memiliki ketelitian yang lebih tinggi dari pada seismik karena memakai frekuensi yang lebih tinggi yaitu sekitar 4 kHz hingga 20 kHz (Lowag dan Heuvel, 2002) Namun karena sifat atenuasi dan frekuensinya yang lebih tinggi, sub-bottom profiler tidak dapat

menembus jauh ke dalam lapisan dasar laut tapi cukup baik untuk menelaah lapisan permukaan dasar laut.

Sub-bottom profiler sering dipakai untuk kepentingan-kepentingan berikut ini: (a) penentuan kedalaman perairan dengan akurasi yang tinggi, (b) deteksi keberadaan lumpur dan kedalaman penggalian pada lapisan permukaan dasar perairan, (c) survei morfologi permukaan dasar perairan dan struktur sedimen, (d) penentuan lokasi boring untuk pengambilan contoh sedimen, (e) pencarian sumber daya mineral dan daerah penggalian pasir, (f) pencarian pipa, kabel dan batuan yang tertanam serta pengawasan keberadaan benda-benda tersebut, (g) penyelidikan arkeologi kelautan mengenal sisa kapal, bangunan dan pemukiman (Lowag dan Heuvel, 2002).



Gambar 3. Sistem Kerja Metode *Sub-bottom Profiler* (sumber: <https://www.ga.gov.au/>).

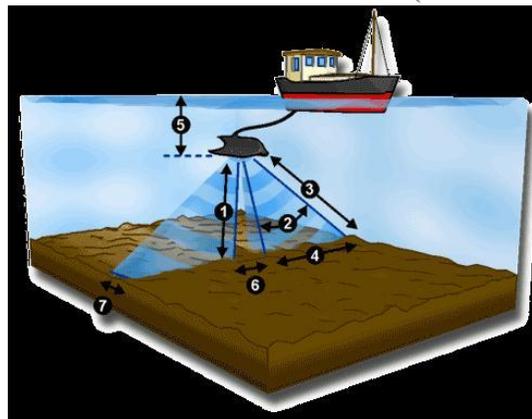
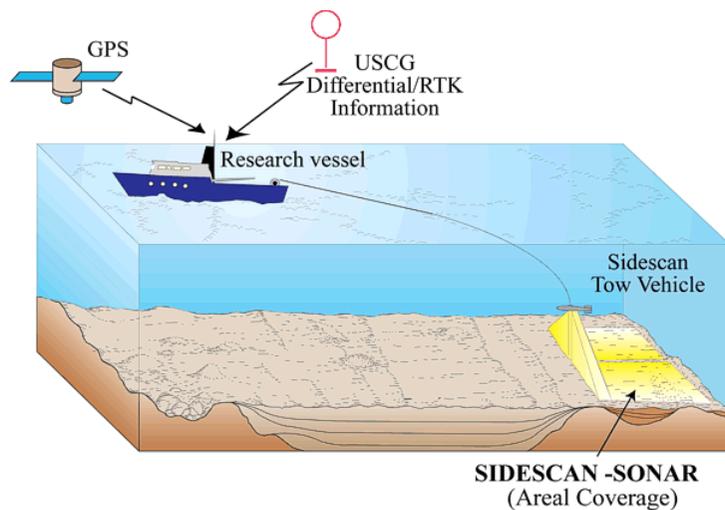
4. *Side Scan Sonar*

Side scan sonar (Gambar 4) adalah salah satu sistem yang paling baik dalam menggambarkan permukaan dasar perairan. Side scan sonar umumnya ditarik di belakang kapal dan biasanya menggunakan *Towfish* atau *Towvehicle*.

Teknologi side scan sonar menggunakan pulsa gelombang akustik yang terbentuk khusus yang memancar secara horizontal ke arah sisi kapal dan menyapu permukaan dasar laut pada kedua sisinya tersebut, Setiap pulsa dapat menghasilkan sebuah citra yang rinci dari jalur sapuan pulsa gelombang akustik yang dipancarkan, yaitu dari bawah *towfish* hingga ke arah masing-masing sisi *towfish*. Topografi dari dasar perairan dan obyek akan memantulkan kembali energi suara ke hydrophone pada *towfish*. Pantulan ini kemudian diperkuat, diproses dan disusun sebagai sebuah citra.

Energi suara yang dilepas oleh *side scan sonar* sebagian diserap oleh dasar perairan, sebagian lagi dipantulkan atau tersebar dengan kekuatan yang berbeda. Perbedaan kekuatan pantulan ini menyebabkan terjadinya perbedaan tampilan dari obyek yang memantulkan energi suara tersebut. Contohnya batu dan logam akan memantulkan energi yang lebih kuat sehingga menghasilkan gambaran yang lebih luas dari pada lumpur yang cenderung menyerap energi sehingga menciptakan pantulan yang lemah dan gambaran yang kurang jelas.

Side scan sonar dapat menghasilkan gambar beresolusi tinggi bahkan hampir mendekati kualitas gambar fotografi. Teknologi ini biasanya dipakai untuk pencarian pipa, kabel atau benda lain yang kecil namun spesifik seperti sisa kapal karam, ranjau, atau pesawat yang tenggelam. Side scan sonar cukup sensitif untuk mendeteksi benda yang lebih kecil dari 10 cm yang berada di dasar laut. Side scan sonar juga berguna untuk menghasilkan peta yang akurat dan daerah dasar perairan yang luas.



Gambar 4. Atas: Sistem Kerja Metode *Side Scan Sonar* (sumber: <https://pubs.usgs.gov/>), Bawah: Sapuan beam side scan sonar dan tampilan pantulannya.

B. Sistem Seismik

Sistem seismik adalah sistem yang didasari oleh gerakan gelombang yang memantul atau membias di antara lapisan bumi (Bullen, 1961). Penggunaan gelombang seismik untuk meneliti dan mengidentifikasi bermula dari pengukuran seismometer di darat yang menemukan pola aneh dari batuan yang kemudian diidentifikasi sebagai minyak (Greaves dan Fulp, 1987).

Palmiere pada tahun 1855 menemukan alat seismograf untuk mendeteksi gempa bumi di perut bumi memulai revolusi dalam penelusuran lapisan bumi. Namun baru pada saat Perang Dunia I, Ludger Mintrop seorang ilmuwan Jerman memakai seismograf untuk mendeteksi lokasi artileri pasukan sekutu. Ludger kemudian menemukan bahwa cara ini juga dapat menggambarkan stratigrafi batuan di bawah tanah dan memakainya untuk mencari minyak. Karyanya itu lalu dipatenkan oleh Amerika pada tahun 1927 dan digunakan untuk menemukan ladang-ladang minyak di Texas.

Cara kerjanya sederhana saja, energi dalam bentuk gelombang seismik dikirimkan ke perut bumi, dan karena lapisan-lapisan batuan perut bumi memiliki densitas dan karakteristik yang berbeda-beda, maka gelombang-gelombang seismik yang dikirimkan ke perut bumi tadi memantul balik dengan kecepatan berbeda-beda sesuai jenis lapisan batumannya.

Hal ini dapat diilustrasikan dengan pantulan bola, jika dipantulkan ke atas lapisan beton, tentu akan memantul lebih cepat

dibandingkan dengan bola yang memantul dan lapisan pasir, atau dari lapisan tanah liat, ataupun dari lapisan air. Pantulan balik gelombang seismik inilah yang kemudian direkam, dianalisis, dan diinterpretasikan bentuk lapisan batuan di bawah permukaan. Prinsip kerja dan sistem ini sama dengan sistem akustik yang sering digunakan dalam pencarian ikan di kolom perairan, hanya gelombang yang digunakan adalah gelombang dengan panjang gelombang yang panjang atau dengan kata lain berfrekuensi rendah (Robinson dan Treitel, 1980).

C. Sumber Sinyal Seismik

Masukan didapat dari pantulan gelombang yang dihasilkan oleh sumber energi seismik pada perbatasan antara lapisan batuan di dalam bumi. Sumber energi yang dimaksud dapat berupa ledakan dinamit, pemercik listrik, boomer dan transducer (Kunzendorf, 1986). Gelombang seismik itu sendiri adalah gelombang kejut yang sama dengan gelombang pada gempa. Gelombang ini akan merambat di dalam batuan dan mengalami pembiasan serta pemantulan oleh struktur batuan. Waktu tiba dari pantulan tunggal (pantulan utama) yang ditangkap oleh penerima di permukaan menghasilkan data kedalaman dengan catatan kecepatan gelombang di medium batuan diketahui (Robinson dan Treitel, 1980). Data yang terekam masih berupa data mentah yang menunjukkan intensitas pantulan dan waktu tiba saja. Data inilah yang menjadi masukan dari sistem seismik yang akan diproses untuk mendapatkan gambaran pembagian lapisan bumi.

D. Sedimen Dasar Laut

Sedimen dasar laut adalah sisa-sisa pelapukan benua, cangkang-cangkang bahan organik yang berasal dari organisme, garam yang berasal dari air laut itu sendiri, dan produk vulkanik seperti abu dan batuan (Seibold dan Berger, 1993). Selain itu sedimen lautan bisa berasal dari pelapukan dan hakisan serta erosi dari tempat lain yang terbawa bersama arus laut dan mengendap di suatu daerah tertentu, contohnya sedimen lautan yang terdapat di Pulau Rupa (terutama di bagian utara) dimana sedimen lautan berasal dari arus selat Melaka yang diendapkan di pesisir pulau Rupa bagian utara dan menunjukkan bahwa proses pengendapan ini sangat dipengaruhi oleh agen transportasi sedimen.

Sebaran sedimen di dasar laut sangat tergantung pada keadaan laut. Arus kuat dapat memindahkan sedimen jauh dari sumbernya. Gunung es yang terapung dapat membawa sisa-sisa daratan hingga ribuan kilometer atau hingga gunung es tersebut mencair (Seibold dan Berger, 1993).

Sedimen dapat menceritakan kondisi dari kolom perairan yang berada di atasnya. Kondisi dari dasar laut seperti relief dan komposisi sedimennya sangat berhubungan dengan kolom perairan di atasnya. Bahkan dalam beberapa kasus, dasar laut dapat menjadi jendela untuk melihat ke masa lampau, tentang apa yang pernah terjadi di planet Bumi ini. Sedimen yang menumpuk di dasar laut relatif tidak terganggu oleh aktivitas arus permukaan sehingga cenderung

stagnan dan daurnya lebih besar mengarah ke dalam lithosfer (Seibold dan Berger, 1993).

Sedimen sendiri terbagi menjadi dua jenis yaitu : (a) sedimen terrigenous yang berasal dari material darat yang menghasilkan endapan lumpur dan pasir mineral dan (b) sedimen pelagic yang berasal dari sisa-sisa organisme laut kemudian membentuk endapan materi lempung dan puing-puing kerang (Hutabarat dan Evans, 1985).

Dengan adanya pembagian ini maka sebaran dan sedimen pada daerah sekitar pesisir pulau di perairan Indonesia sangat bergantung pada keberadaan sungai yang memasok sedimen. Sedang untuk wilayah samudera, perairan yang cukup luas, dan pulau-pulau kecil tanpa sungai, sedimen akan lebih dipengaruhi oleh keberadaan organisme laut. Pada kasus pulau Rupa bagian utara dimana banyak terdapatnya pasir mineral yang merupakan sedimen daratan/klastik/terigenus, sedimen tersebut berasal dari daerah daratan yang terdapat di sepanjang selat Melaka seperti daerah laut Cina Selatan (Kepulauan Riau) dan Samudra Hindia (daratan Malaysia dan Sumatra) yang kemudian diangkut dan diendapkan oleh arus selat Melaka di depan pulau Rupa bagian utara yang menunjukkan terendapnya bahan sedimen berupa pasir yang mengandung mineral.

Dalam penelitian ini, sedimen dijadikan obyek yang akan ditelaah untuk mengetahui volume dan sebarannya dengan menggunakan sistem akustik. Sedimen memiliki densitas yang

berbeda-beda dan densitas sangat mempengaruhi kecepatan dan sinyal akustik. Oleh karena itu, karakteristik pantulan untuk masing-masing jenis sedimen adalah berbeda. Dengan diketahui kebenaran dari pantulan yang diterima oleh sensor akustik maka data-data pantulan tersebut dapat direvisi dan digunakan untuk menghasilkan gambaran visual yang lebih jelas mengenai dasar laut dan interpretasi mengenai gambaran dasar laut tersebut sehingga bisa diketahui tentang sebaran dan volume dari pasir mineral tersebut.

III

Pengolahan Data Survei

Data yang telah dikumpulkan dari seluruh metode yang telah dilaksanakan selanjutnya diolah lebih rinci sebagaimana yang dijelaskan dibawah ini.

A. Konversi Format Data

Data sub-bottom profiler yang ada dalam format JPEG di ekstrak untuk mendapatkan nilai-nilai digitalnya. Namun sebelum ekstraksi, dilakukan klasifikasi terhadap format jpeg untuk membatasi dan menampilkan bagian degan pantulan yang kuat. Proses ekstraksi ini kemudian dilakukan dengan mengubah format jpeg tersebut menjadi format ASCII yang terdiri dari letak baris tiap pixel, letak kolom tiap pixel dan nilai skalar pixel tersebut dalam kisaran 256 (0-255). Data pixel tersebut kemudian dicocokkan dengan titik-titik koordinat yang tersedia dari data cruise track serta data kedalaman yang berupa waktu tempuh gelombang.

Proses klasifikasi yang dilakukan juga akan menghilangkan nilai pantulan yang kecil. Karena dalam format jpeg yang ada menunjukkan bahwa nilai pixel dari pantulan yang kuat adalah lebih dari 200, maka dengan definisi ini dapat dilakukan proses penapisan

(*filtering*) untuk menghilangkan semua nilai dibawahnya dan mengubah nilai pantulan yang tinggi menjadi maksimal, adapun logika yang dimaksud adalah sebagai berikut:

```
if      INPUT1 => 200  
        OUTPUT1 = 255  
      else INPUT1 < 200  
        OUTPUT1 = 0  
      end if                                     [1]
```

INPUT 1 melambangkan format jpeg yang diolah, sedang nilai 200 adalah batas yang diberikan dan nilai 255 dan 0 adalah nilai maksimal dan minimal dalam rentang 256.

Data-data ini akan tercantum dalam format ASCII dan dapat dimanipulasi sesuai kebutuhan, misalnya perubahan data kedalaman dari satuan waktu menjadi satuan metrik dengan mengetahui kecepatan gelombang dari tiap lapisan.

Data side scan sonar direSIGter ulang dengan memberikan titik-titik koordinat dan kedalaman agar potongan-potongan sapuannya dapat disatukan menjadi suatu gambaran visual dari permukaan dasar laut.

B. Pengolahan Sistem Koordinat

Koordinat yang digunakan dalam menentukan lokasi penelitian dan pengambilan sampel adalah dalam derajat desimal dengan

datum WGS 84 (World Geodetic Standard 1984). Alat-alat pengambil data seperti navigasi dan sub-bottom profiler menggunakan koordinat desimal degrees dengan utum WGS84.

C. Pemodelan Batimetri

Dari data kedalaman yang ada dapat dibuat pemodelan relief permukaan dasar laut. Pemodelan dilakukan dengan interpretasi sederhana yaitu *nearest neighbour* (Tutorial Surfer, 2002) dengan alasan menghindari besarnya penyimpangan dan data yang ada. Hasil dan pemodelan ini akan menjadi bentuk permukaan dasar laut yang akan di-*overlay* dengan data *side scan sonar*.

Beberapa jenis pengolahan data secara matematis akan dilakukan untuk menentukan tampilan paling baik yang dapat dihasilkan oleh data. Pengolahan data yang dimaksud akan dibatasi pada pengolahan sederhana yang akan memperlihatkan kebenaran dari data. Interpolasi tersebut contohnya *nearest neighbour* yaitu interpolasi sederhana yang diperluas agar mencakup data-data yang terdekat dengan data acuan.

D. Penentuan Batas dan Lapisan Batuan

Data *sub-bottom profiler* yang masih umum akan menyulitkan interpretasi, untuk itu diperlukan batasan pengolahan yang dilakukan menggunakan logika atas lapisan batuan yang jelas pantulannya. Karena nilai pantulan tergantung pada nilai pixel hasil klasifikasi, maka perlu definisi atas nilai yang akan diambil sebagai nilai pantulan. Untuk masalah ini proses klasifikasi yang telah dilakukan

pada bagian konversi telah menetapkan bahwa nilai pantulan kuat adalah nilai maksimal yaitu 255, maka pengolahan difokuskan pada bagian tersebut.

Nilai-nilai maksimal tersebut kemudian dikumpulkan dan dipisah dari nilai minimum untuk menyederhanakan data yang diolah. Pada keadaan terkumpul ini, nilai-nilai tersebut sudah membawa variabel koordinat dan kedalaman namun belum terpisah untuk tiap lapisan.

Untuk memisahkan data ini menjadi lapisan-lapisan tersendiri maka diperlukan suatu logika. Untuk itu ada beberapa asumsi yang diterapkan yaitu: (1) Tiap lapisan terdiri dari satu pantulan, (2) Tiap titik koordinat (Lintang dan Bujur) terdiri dari beberapa pantulan lapisan yang berbeda kedalaman dimana lapisan yang satu berada di atas lapisan yang lain, (3) Penentuan lapisan harus dilakukan pada tiap titik koordinat, (4) Data ada dalam bentuk matriks ASCII yang terdiri dari kolom dan baris dengan begitu dapat diolah dengan pengolah excel.

Dengan asumsi-asumsi di atas maka dapat dilakukan logika untuk masing-masing lapisan yaitu:

Jika letak nilai penentu pada kolom dan baris sama dengan nilai penentu pada kolom, dan baris sebelumnya maka nilai penentu pada kolom dan baris tersebut diberi variabel lapisan $n+1$ dari variabel lapisan n kolom dan baris sebelumnya. Atau:

IF (XY+1=XY)then n+1 else n

[2]

XY melambangkan nilai penentu path bars dan kolom tertentu, dalam hal ini nilai penentu ditetapkan sebagai nilai koordinat.

E. Pemodelan Grid

Data *sub-bottom profiler* yang telah dibagi atas tiap tapisan batuan akan dioalah secara tersendiri untuk membentuk tampilan lapisan yang terpisah. Titik- titik dari masing-masing lapisan tersebut kemudian akan diinterpolasi dan disesuaikan untuk membentuk grid. Grid ini akan digunakan untuk membentuk tampilan lapisan batuan di bawah permukaan dasar laut.

Namun juga perlu diperhatikan bahwa terdapat beberapa kekurangan dari klasifikasi yang dilakukan yaitu berkurangnya jumlah data yang mengakibatkan kemungkinan hilangnya beberapa data yang memiliki nilai kecil. Pemodelan ini juga dimaksudkan untuk menghilangkan variasi-variasi yang berlebihan dari permukaan yang dihasilkan.

F. Penyusunan Hasil Pemodelan

Grid kemudian dimodelkan menjadi struktur lapisan di bawah permukaan dasar laut lalu disatukan dengan struktur lapisan lainnya dan diberikan warna yang berbeda sebagai atributnya.

G. Penyatuan Jalur *Side Scan Sonar*

Jalur side scan sonar yang telah dipilih untuk penampakan lintasan sub-bottom profiler kemudian dibetikan atribut kedalaman dan batimetri, Setelah mendapat atribut kedalaman, lintasan side scan sonar dioverlay dengan hasil pemodelan batimetri dan sub-bottom profiler untuk menghasilkan suatu tampilan dari dasar laut baik dari permukaan maupun lapisan di bawahnya.

H. Pengolahan Data SIG (Sistem Informasi Geografis)

Data SIG sangat diperlukan di dalam pemetaan yang dilakukan di wilayah observasi, hal ini penting karena data SIG dapat diperoleh pola sebaran pasir mineral yang berada di wilayah kajian.

I. Bagan Alir Penggunaan Metode dan Pengolahan Data

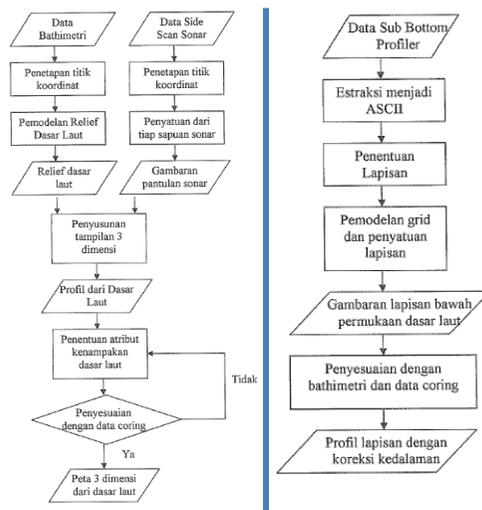
Pegolahan data dimulai dengan input data batimetri mentah yang kemudian mengalami koreksi koordinat dan pemberian koordinat baru. Data batimetri yang telah memiliki koordinat baru tersebut kemudian diolah menjadi grid untuk membentuk sebuah model permukaan dasar laut. Model permukaan dasar laut tersebut menjadi keluaran dan proses awal bathimeiri berupa tampilan relief dasar laut baik berupa kontur maupun volume dan lapisan sedimen.

Proses awal dari *side scan sonar* berupa pemasukan citra side scan sonar dalam pengolahan koordinat dimana citra akan mengalnri koreksi geometri sesuai dengan titik-titik ikat koordinat yang telah ditetapkan. Setelah terkoreksi, lintasan citra sidescan sonar pun dapat disatukan untuk membentuk suatu gambaran

pantulan dasar laut yang merupakan keluaran proses awal side scan sonar ini.

Untuk *sub-bottom profiler*, pengolahan dimulai dengan ekstraksi menjadi format ASCII yang kemudian melewati penyortiran untuk mendapatkan lapisan lapisan di bawah permukaan dasar laut. Pemodelan kemudian dilakukan untuk membentuk suatu gambaran volume dan lapisan-lapisan permukaan dasar laut. Untuk koreksi dilakukan perbandingan dengan bathimetri agar didapatkan suatu profil lapisan dasar laut terkoreksi.

Dari proses dan urutan data survei yang telah dilaksanakan, diperoleh data yang selanjutnya bisa diolah untuk mendapatkan analisa dan informasi lengkap terhadap sebaran dan distribusi mineral laut. Dari proses dan analisa ini selanjutnya akan diperoleh hasil dari karakter mineral laut dari sebaran yang didapatkan (Gambar 5).



Gambar 5. Kiri: Bagan Alir Pengolahan Bathimetri dan *Side Scan Sonar*, Kanan: Bagan Alir Pengolahan *Sub-Bottom Profiler*.

IV

Aplikasi dan Pelaksanaan Survei Mineral Laut

A. Model Permukaan Dasar Laut

Dari survei yang telah dilaksanakan, didapatkan empat buah jalur lintasan yang telah dijalankan. Empat buah lintasan ini menghubungkan daerah selatan yang disandi sebagai BA1 dan BA2 dengan daerah lintasan berada di dekat daerah Beting Aceh yang berarah barat laut hingga ke utara. Lintasan lainnya dilabeli dengan lintasan PB1 dan PB2 yang berada di daerah pulau Beruk kearah barat laut hingga utara. Penelitian ini difokuskan pada keempat daerah lintasan ini, hal ini karena di daerah ini merupakan daerah yang tidak termasuk didalam Rancangan Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) daerah Pariwisata pulau Rupa, Kabupaten Bengkalis, sehingga tidak akan mengganggu perencanaan yang telah ditetapkan tersebut.

Penentuan lintasan di area-area yang telah disebutkan berdasarkan asumsi sebaran pasir mineral yang dominan, dimana di lintasan-lintasan tersebut dapat ditemukan sebaran pasir mineral yang bahkan sampai ke permukaan daratan, seperti di area Beting Aceh, dimana Beting Aceh itu sendiri merupakan hamparan pasir mineral yang muncul ke permukaan dan berbentuk beting (*Bearer*).

Daerah kedua yaitu Pulau Beruk juga dapat ditemukan pasir mineral yang sampai ke permukaan, terutama di bagian pesisir/daerah pulau yang bersinggungan langsung dengan laut, dimana di area ini banyak sekali hamparan pasir mineral yang dapat ditemui.

Lintasan BA1 terletak di latitude $2^{\circ} 5'58.65''N$ dan longitude $101^{\circ}34'23.97''E$ di arah barat Beting Aceh. Lintasan BA2 terletak di latitude $2^{\circ} 6'5.37''N$ dan longitude $101^{\circ}34'38.16''E$ di arah timur Beting Aceh. Lintasan PB1 terletak di latitude $2^{\circ} 6'54.61''N$ dan longitude $101^{\circ}37'28.43''E$ di arah barat daya Pulau Beruk. Lintasan PB2 terletak di latitude $2^{\circ} 7'24.44''N$ dan longitude $101^{\circ}38'32.58''E$ di arah timur laut Pulau Beruk.

Lintasan BA1 merupakan lintasan yang berjarak sekitar 300 m di sebelah kiri atau barat dari Beting Aceh, lintasan BA2 merupakan lintasan yang berjarak sekitar 120 m di sebelah kanan atau timur dari Beting Aceh. Lintasan PB1 merupakan lintasan yang berjarak sekitar 100 m di sebelah kiri atau barat daya dari Pulau Beruk, Lintasan PB2 merupakan lintasan yang berjarak sekitar 200 m di sebelah kanan atau timur laut dari Pulau Beruk.

Dari peta di atas dapat terlihat empat garis yang masing-masing berwarna merah (BA1), kuning (BA2), biru muda (PB1) dan biru tua (PB2) mewakili rekaman lintasan bathimetri dan rekaman sub-bottom profiler. Data sub-bottom profiler didapat dalam bentuk *hardcopy* yang mengandung keterangan seperti kedalaman dan titik ikat. Namun bentuk *hardcopy* tersebut harus dikonversi terlebih

dahulu agar dapat dipadankan menjadi sebuah model lapisan yang akan dibahas pada bagian seterusnya. Berbeda dengan data sub-bottom profiler, data bathimetri direkam dalam bentuk digital dengan titik-titik koordinat yang sudah ikut terekam dalam bentuk ASCII.

Titik-titik tersebut mewakili titik dimana koordinat ikat untuk sub-bottom profiler direkam dan ditampilkan dengan warna yang sesuai warna lintasannya masing-masing. Sebaran dan titik-titik tersebut pun tidak sama untuk masing-masing lintasan, misalnya hanya terdapat 8 titik ikat pada lintasan PB1 dan terdapat 9 titik ikat untuk lintasan PB2 (Gambar 6). Hal ini disebabkan keadaan pada saat survei yang tidak memungkinkan untuk melakukan perekaman pada setiap saat, mengingat data sub-bottom profiler yang ada dalam bentuk hardcopy dan sangat bergantung pada kebisingan yang terdapat di kawasan kajian.

Data bathimetri untuk tiap lintasan merupakan data kedalaman dari setiap titik koordinat dalam tiap lintasan. Untuk itu dapat dibuat suatu model dari data kedalaman yang menampilkan relief permukaan dasar laut.

Dari data bathimetri yang dijalankan pada lintasan BA1, dapat dibuat model atau peta dasar laut pada lintasan ini dan dapat diketahui kedalaman serta topografi dari dasar laut tersebut. Dari model yang dihasilkan (Gambar 7) dapat dilihat bahwa topografi di lintasan BA1 dapat terlihat jelas pada kedalaman 10 meter dari laut, dimana pada kedalaman ini dapat dilihat sebaran pasir mineral di

dalam laut tersebut. Sebaran pasir mineral ini membentuk topografi dasar laut, dimulai dari kedalaman 10 meter dan berlanjut sampai kedalaman 40 meter lebih. Disepanjang lintasan ini juga dapat disimpulkan bahwa sebaran pasir mineral di dalam laut adalah tidak merata, hal ini disebabkan oleh pengaruh arus laut yang berperan besar dalam mengontrol sebaran pasir mineral tersebut. Sebaran pasir mineral di kawasan ini semakin menjuram kearah utara. Model kedalaman tersebut juga menunjukkan interpolasi suatu tampilan dugaan dari permukaan dasar laut yang lebih halus.

Dari tampilan model tersebut dapat dilihat bahwa sebagian besar daerah profil relief dasar laut pada lokasi kajian adalah lembah dengan kedalaman kedalaman maksimal 40 meter lebih sisanya adalah berbentuk bukit dengan kedalaman 10-35 meter, dan tebing diantara Lembah bukit. Disini juga dapat dilihat titik terdangkal dari observasi ini berada pada titik 40 meter lebih. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan yang dilakukan tidak menyimpang jauh dari data mentah yang ada.

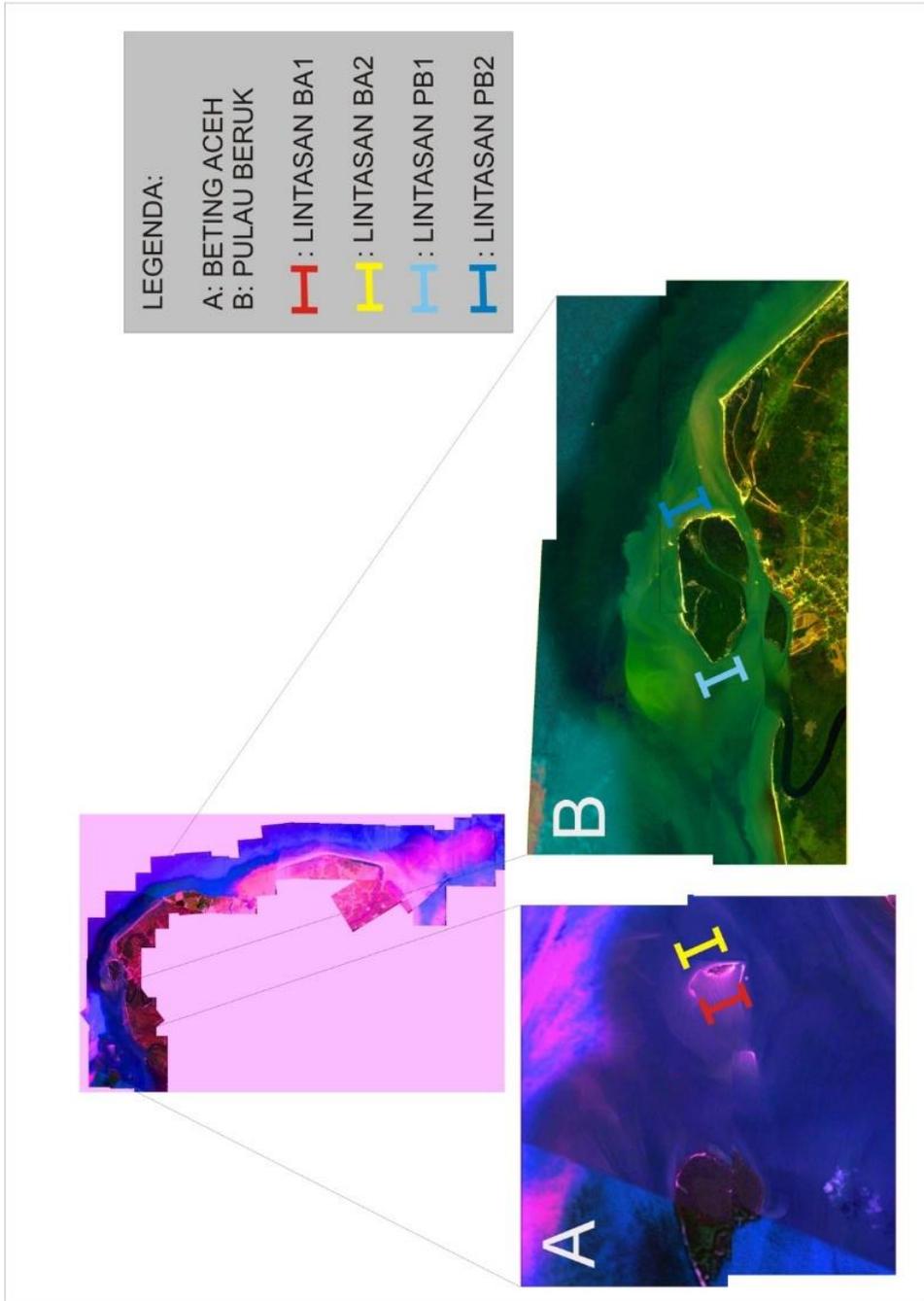
Lekukan dari permukaan profil dapat terlihat dengan adanya bayangan dari pencahayaan buatan. Dengan pencahayaan ini dapat dilihat perbedaan antara relief permukaan dasar laut pada bagian bukit dengan bagian lembah. Bagian bukit lebih kasar daripada bagian lembah, bahkan tampak bergerigi disbanding bagian lembah yang terlihat datar. Hal ini disebabkan oleh tipe substrat yang berbeda dari kedua daerah tersebut. Dengan sifat sedimen yang akan menyebar relatif merata di atas permukaan dasar laut maka dapat

dikatakan kondisi dari permukaan bukit lebih disebabkan oleh arus lautan dan batuan dasar/*bedrock* yang membentuknya, dimana pada kawasan bukit tersebut, batuan dasarnya adalah lebih kuat dari batuan dasar yang terdapat di bagian lembah.

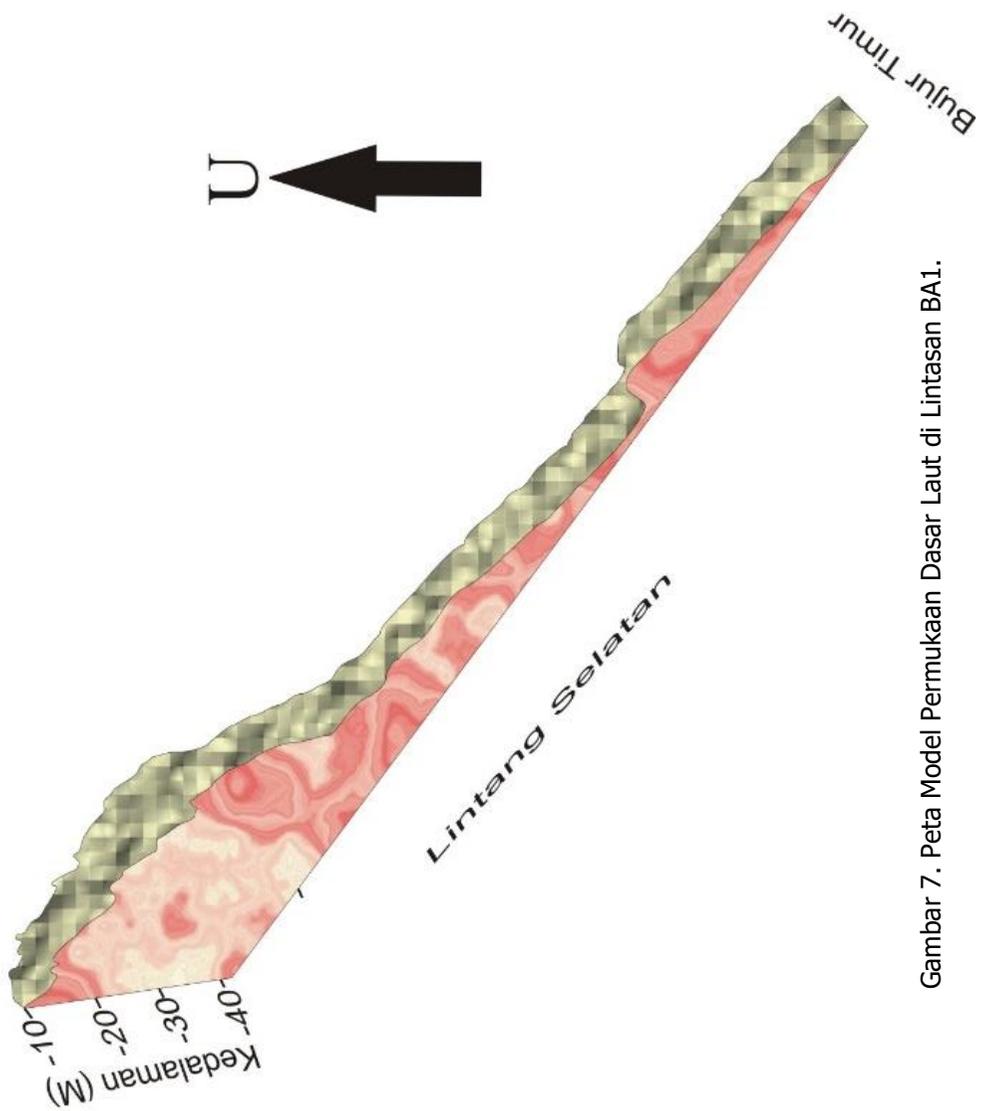
Dari data bathimetri yang dijalankan pada lintasan BA2, dapat dibuat model atau peta dasar laut di lintasan ini dan dapat diketahui kedalaman serta topografi dari dasar laut tersebut. Dari model yang dihasilkan dapat dilihat bahwa topografi di lintasan BA2 dapat terlihat jelas pada kedalaman 10 meter dari laut, dimana pada kedalaman ini dapat dilihat sebaran pasir mineral di dalam laut tersebut. Sebaran pasir mineral ini membentuk topografi dasar laut, dimulai dari kedalaman 10 meter dan berlanjut sampai kedalaman 40 meter lebih. Disepanjang lintasan ini juga dapat disimpulkan bahwa sebaran pasir mineral di dalam laut adalah tidak merata, hal ini disebabkan oleh pengaruh arus laut yang berperan besar dalam mengontrol sebaran pasir mineral tersebut. Sebaran pasir mineral di kawasan ini semakin menjuram kearah utara. Model kedalaman tersebut juga menunjukkan interpolasi suatu tampilan dugaan dari permukaan dasar laut yang lebih halus.

Dari tampilan model tersebut dapat dilihat bahwa sebagian besar daerah profil relief dasar laut pada lokasi kajian adalah lembah dengan kedalaman kedalaman maksimal kurang dari 40 meter, sisanya adalah berbentuk bukit dengan kedalaman 12-35 meter, dan tebing diantara Lembah bukit. Disini juga dapat dilihat titik terdangkal dari observasi ini berada pada titik kurang dari 40 meter. Hal ini

menunjukkan bahwa pemodelan yang dilakukan tidak menyimpang jauh dari data mentah yang ada. Selain itu dapat juga dilihat dua buah lembah yang ada pada lintasan ini.



Gambar 6. Peta Lintasan *Sub-bottom profiler* di Kawasan Survei.

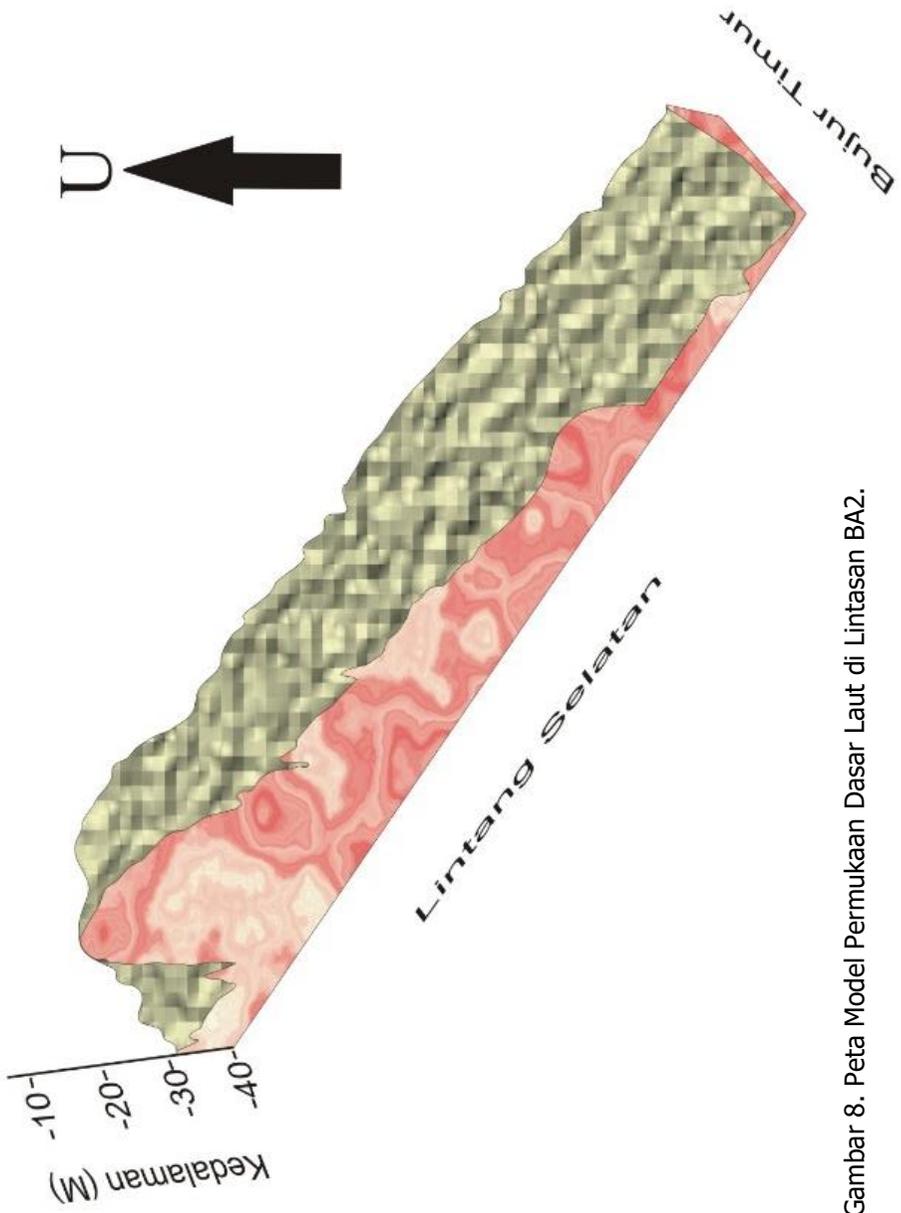


Gambar 7. Peta Model Permukaan Dasar Laut di Lintasan BA1.

Lekukan dari permukaan profil dapat terlihat dengan adanya bayangan dari pencahayaan buatan. Dengan pencahayaan ini dapat dilihat perbedaan antara relief permukaan dasar laut pada bagian bukit dengan bagian lembah. Bagian bukit lebih kasar daripada bagian lembah, bahkan tampak bergerigi dibanding bagian lembah yang terlihat datar. Hal ini disebabkan oleh tipe substrat yang berbeda dari kedua daerah tersebut. Dengan sifat sedimen yang akan menyebar relatif merata di atas permukaan dasar laut maka dapat dikatakan kondisi dari permukaan bukit lebih disebabkan oleh arus lautan dan batuan dasar/*bedrock* yang membentuknya, dimana pada kawasan bukit tersebut, batuan dasarnya adalah lebih kuat dari batuan dasar yang terdapat di bagian lembah.

Dari model dasar laut tersebut (Gambar 8), yang paling terlihat adalah detail relief yang pada keseluruhan terlihat sebagai permukaan yang halus, menjadi relief yang kasar dengan banyak variasi kedalaman. Secara umum model mengalami kenaikan permukaan pada kedalaman 30-18 meter pada daerah paling selatan (sebelah kiri) lalu mengalami penurunan ke arah utara dan lalu kemudian mendatar.

Pada model ini terdapat banyak variasi kedalaman yang terlihat dari efek bayangan yang terjadi yang berasal dari pencahayaan buatan. Efek bayangan yang terjadi menandakan adanya lekukan dan semakin bertambah ke arah selatan, sedang ke arah utara, efek bayangan menunjukkan adanya lekukan besar dimana permukaan dasar laut mengalami penurunan.



Gambar 8. Peta Model Permukaan Dasar Laut di Lintang BA2.

Dari model ini juga dapat dilihat titik kedalaman terdalam dan seluruh wilayah survei seperti yang telah dibahas sebelumnya yaitu sekitar 38 meter yang terdapat pada ujung selatan, selain itu sebuah lekukan tajam juga bisa dilihat pada kedalaman 38 meter kearah utara. Untuk titik tertinggi terdapat pada kedalaman 12 meter. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kedalamannya lebih besar dari bujur di timur.

Selain itu, bagian barat dari model ini lebih rendah dibanding dengan bagian timur kemudian berangsur menjadi sama rata pada lintang tengah model lalu bagian barat menjadi lebih tinggi dan bagian timur pada bagian lengkungan di model tersebut. Hal ini juga disebabkan perbedaan batuan dasar yang terdapat di area ini, dimana pada lengkungan ini, daerah yang berbentuk bukit memiliki batuan dasar yang lebih kuat dari yang di lembah, selain itu pengaruh arus laut juga berperan penting disini, arus laut di lembah kemungkinan besar lebih kuat dari daerah yang berbukit.

Dari data bathimetri yang dijalankan pada lintasan PB1, dapat dibuat model atau peta dasar laut (Gambar 9) di lintasan ini dan dapat diketahui kedalaman serta topografi dari dasar laut tersebut.

Dari model yang dihasilkan dapat dilihat bahwa topografi di lintasan PB1 dapat terlihat jelas pada kedalaman 5 meter dari laut, dimana pada kedalaman ini dapat dilihat sebaran pasir mineral di dalam laut tersebut. Sebaran pasir mineral ini membentuk topografi dasar laut, dimulai dari kedalaman 5 meter dan berlanjut sampai

kedalaman kurang dari 40 meter. Disepanjang lintasan ini juga dapat disimpulkan bahwa sebaran pasir mineral di dalam laut adalah tidak merata, hal ini disebabkan oleh pengaruh arus laut yang berperan besar dalam mengontrol sebaran pasir mineral tersebut. Sebaran pasir mineral di kawasan ini semakin menjuram kearah utara. Model kedalaman tersebut juga menunjukkan interpolasi suatu tampilan dugaan dari permukaan dasar laut yang lebih halus.

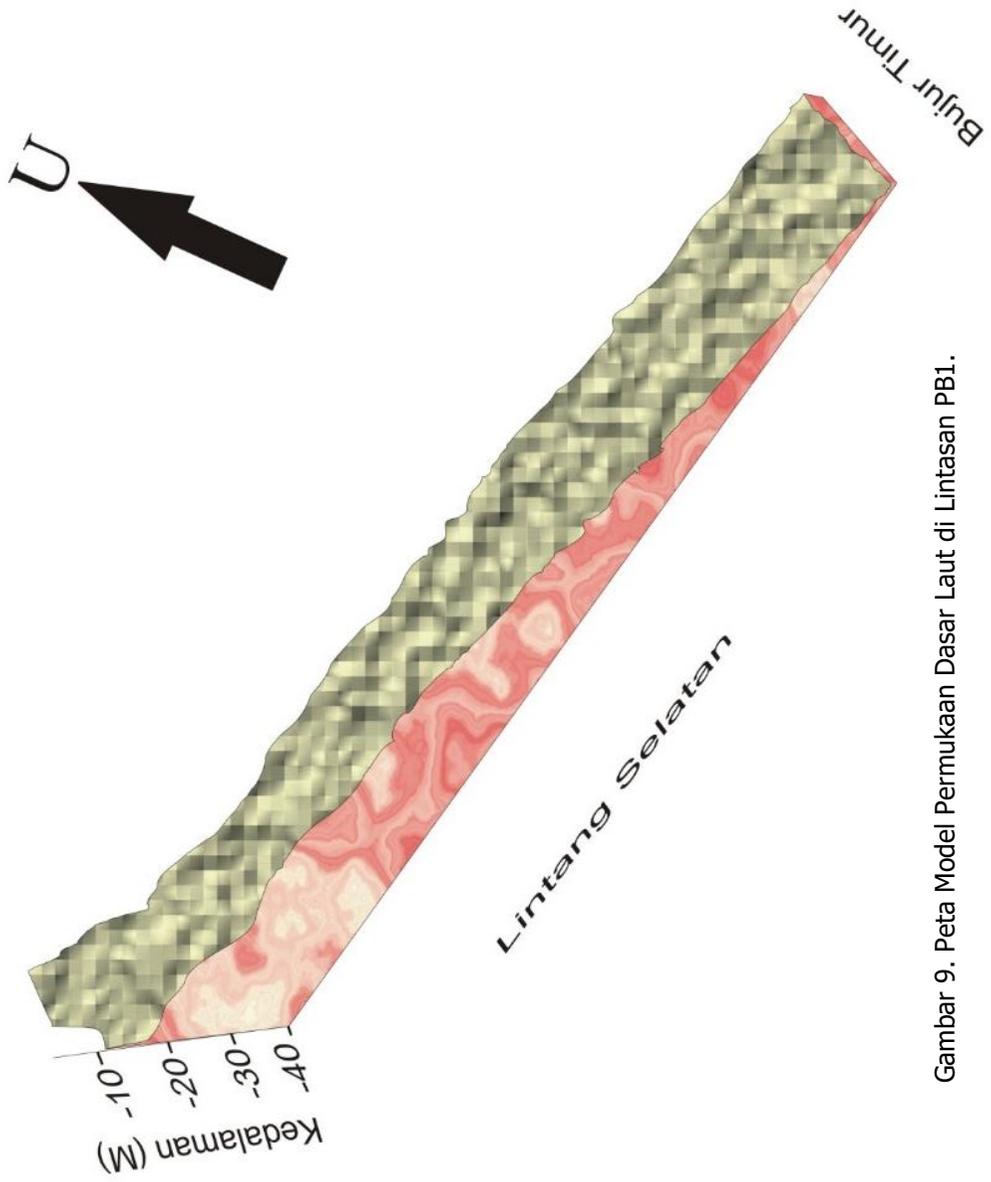
Dari tampilan model tersebut dapat dilihat bahwa sebagian besar daerah profil relief dasar laut pada lokasi kajian adalah menjuram membentuk permukaan miring dari tebing membentuk kearah lembah dengan kedalaman maksimal kurang dari 40 meter. Disini juga dapat dilihat titik terdangkal dari observasi ini berada pada titik kurang dari 40 meter. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan yang dilakukan tidak menyimpang jauh dari data mentah yang ada. Selain itu dapat juga dilihat dua buah lembah yang ada pada lintasan ini.

Lekukan dari permukaan profil dapat terlihat dengan adanya bayangan dari pencahayaan buatan. Dengan pencahayaan ini dapat dilihat perbedaan antara relief permukaan dasar laut pada bagian tebing dengan bagian lembah. Bagian tebing lebih kasar daripada bagian lembah, bahkan tampak bergerigi dibanding bagian lembah yang terlihat datar. Hal ini disebabkan oleh tipe substrat yang berbeda dari kedua daerah tersebut. Dengan sifat sedimen yang akan menyebar relatif merata di atas permukaan dasar laut maka dapat dikatakan kondisi dari permukaan tebing lebih disebabkan oleh arus

lautan dan batuan dasar/*bedrock* yang membentuknya, dimana pada kawasan tebing tersebut, batuan dasarnya adalah lebih kuat dari batuan dasar yang terdapat di bagian lembah.

Dari model dasar laut tersebut, yang paling terlihat adalah detail relief yang pada keseluruhan terlihat sebagai permukaan yang halus. Secara umum model mengalami penurunan permukaan pada kedalaman 5-39 meter dimulai dari daerah barat daya (sebelah kiri) menuju kearah timur laut. Pada model ini terdapat banyak variasi kedalaman yang terlihat dari efek bayangan yang terjadi yang berasal dari pencahayaan buatan. Efek bayangan yang terjadi menandakan adanya penurunan dan semakin bertambah ke arah timur laut. Dari model ini juga dapat dilihat titik kedalaman terdalam dan seluruh wilayah survei seperti yang telah dibahas sebelumnya yaitu sekitar 39 meter yang terdapat pada timur laut. Untuk titik tertinggi terdapat pada kedalaman 5 meter. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kedalamannya lebih besar dari daerah di timur laut.

Selain itu, bagian timur laut dari model ini lebih rendah dibanding dengan bagian barat daya kemudian berangsur menjadi rendah pada bagian timur laut. Hal ini juga disebabkan perbedaan batuan dasar yang terdapat di area ini, dimana daerah yang berbentuk tebing memiliki batuan dasar yang lebih kuat dari yang di lembah, selain itu pengaruh arus laut juga berperan penting disini, arus laut di lembah kemungkinan besar lebih kuat dari daerah yang berbukit.

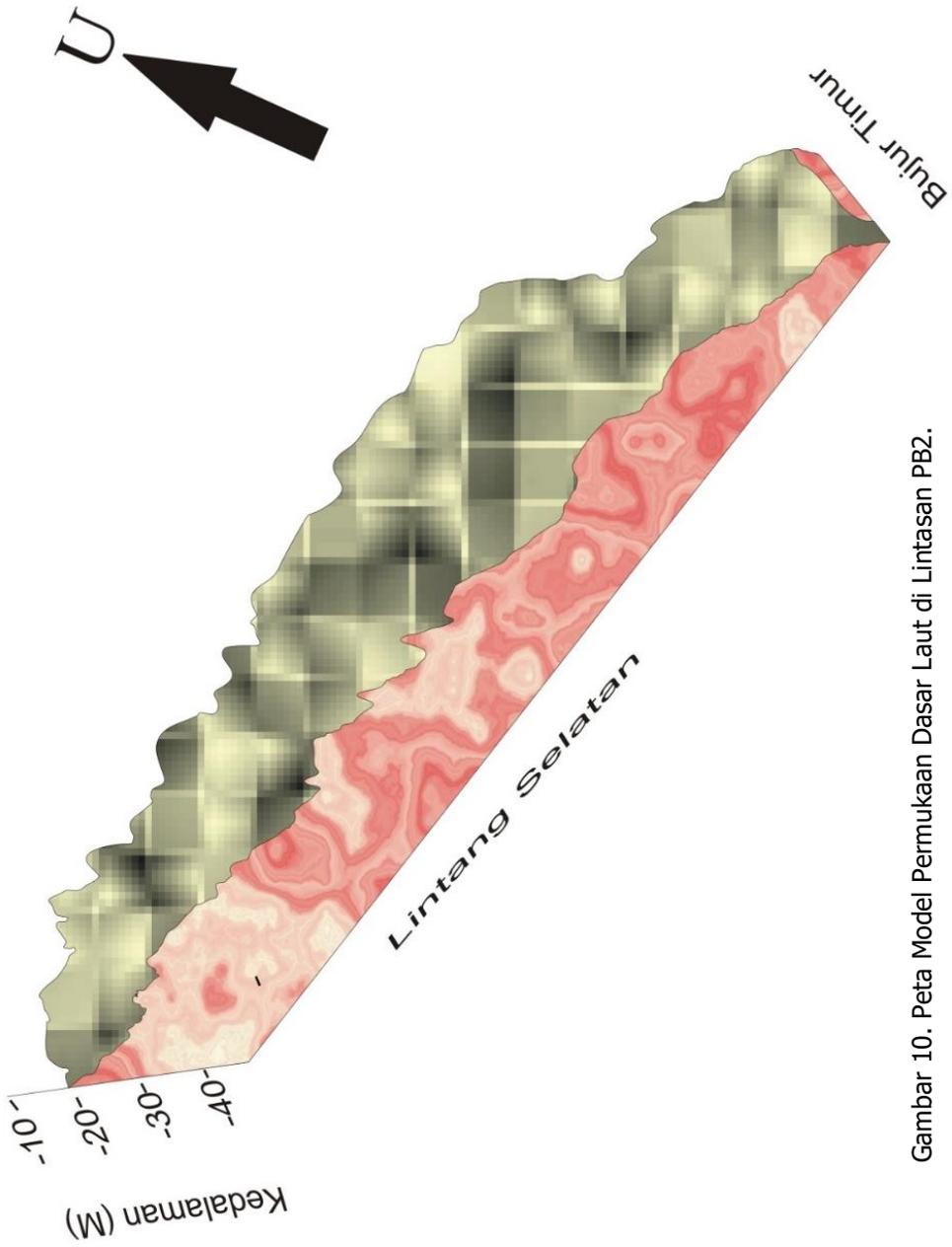


Gambar 9. Peta Model Permukaan Dasar Laut di Lintasan PB1.

Model permukaan bathimetri ini secara umum tidak memiliki banyak variasi dibanding dengan relief pada lintasan sebelumnya. relief cenderung menaik dari bagian timur laut menuju barat daya dengan kemiringan yang relatif landai. Beberapa variasi cekungan terjadi pada daerah barat daya kemudian berujung pada bagian naik yang menyerupai tebing. Bayangan yang terjadi karena efek cahaya buatan memperlihatkan relief bergelombang pada daerah disekitar barat daya.

Sebagai ujung tertinggi yang terdapat pada tebing di bagian barat daya, disebabkan oleh bayangan dan relief yang menandakan adanya variasi dari kedalaman yang cukup besar pada daerah sekitar tebing.

Selanjutnya adalah pemetaan permukaan dasar laut pada lintasan PB2 yang merupakan lintasan yang terakhir. Daerah ini terletak pada bagian timur laut dari pulau Beruk. Di lintasan terakhir ini banyak ditemui pasir mineral yang tersebar sampai ke permukaan, sehingga pemilihan daerah ini di pandang cocok karena selain berada diluar kawasan pariwisata pulau Rupert, di daerah ini juga aktifitas nelayan yang bisa menimbulkan kebisingan agak sedikit berkurang, oleh karena itu penentuan kawasan ini sebagai daerah lintasan untuk dilaksanakannya pemetaan bathimetri dan pemetaan *Sub-bottom profiler* adalah sangat tepat. Dari data bathimetri yang dijalankan pada lintasan PB2, dapat dibuat model atau peta dasar laut (Gambar 10) di lintasan ini dan dapat diketahui kedalaman serta topografi dari dasar laut tersebut. Dari model yang-



Gambar 10. Peta Model Permukaan Dasar Laut di Lintasan PB2.

dihasilkan dapat dilihat bahwa topografi di lintasan PB2 dapat terlihat jelas pada kedalaman 15 meter dari permukaan laut, dimana pada kedalaman ini dapat dilihat sebaran pasir mineral di dalam laut tersebut. Sebaran pasir mineral ini membentuk topografi dasar laut, dimulai dari kedalaman 15 meter dan berlanjut sampai kedalaman kurang 40 meter lebih. Disepanjang lintasan ini juga dapat disimpulkan bahwa sebaran pasir mineral di dalam laut adalah tidak merata, hal ini disebabkan oleh pengaruh arus laut yang berperan besar dalam mengontrol sebaran pasir mineral tersebut. Sebaran pasir mineral di kawasan ini semakin menjuram kearah utara. Model kedalaman tersebut juga menunjukkan interpolasi suatu tampilan dugaan dari permukaan dasar laut yang lebih halus.

Dari tampilan model tersebut dapat dilihat bahwa sebagian besar daerah profil relief dasar laut pada lokasi kajian adalah bergelombang hingga membentuk lembah dengan kedalaman maksimal lebih dari 40 meter. Disini juga dapat dilihat titik terdangkal dari observasi ini berada pada titik lebih dari 40 meter. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan yang dilakukan tidak menyimpang jauh dari data mentah yang ada. Selain itu dapat juga dilihat dua buah lembah yang ada pada lintasan ini.

Lekukan-lekukan dari permukaan profil dapat terlihat dengan adanya bayangan dari pencahayaan buatan. Dengan pencahayaan ini dapat dilihat perbedaan antara relief permukaan dasar laut pada bagian tebing dengan bagian lembah. Bagian tebing lebih kasar daripada bagian lembah, bahkan tampak bergerigi dibanding bagian

lembah yang terlihat datar. Hal ini disebabkan oleh tipe substrat yang berbeda dari kedua daerah tersebut. Dengan sifat sedimen yang akan menyebar relatif merata di atas permukaan dasar laut maka dapat dikatakan kondisi dari permukaan tebing lebih disebabkan oleh arus lautan dan batuan dasar/*bedrock* yang membentuknya, dimana pada kawasan tebing tersebut, batuan dasarnya adalah lebih kuat dari batuan dasar yang terdapat di bagian lembah.

Pada bagian terakhir dari model bathimetri ini yaitu lintasan bagian timur laut pulau Beruk, terlihat jelas bahwa daerah ini mengalami variasi yang lebih banyak dibanding daerah sebelumnya. Secara umum wilayah ini didominasi oleh permukaan yang berbentuk gerigi yang tidak teratur. Relief cenderung naik di bagian tenggara. Bagian selatan merupakan kelanjutan dari tebing yang naik pada ujung lintasan bagian tengah. Pada bagian kearah barat laut, relief naik mendadak membentuk tebing yang hampir vertikal untuk seterusnya membentuk kelompok yang memiliki topografi dan kontur yang begerigi.

Dari model ini terlihat juga antara bagian bujur timur terjadi pola pembagian ketinggian yang sama sepanjang masing-masing bujur yaitu ketinggian bagian barat lebih tinggi dibanding bagian timur. Hal ini terlihat dari adanya tebing vertikal dan daerah barat yang berakhir pada daerah landai, lalu kembali turun.

Adapun titik tertinggi terdapat pada bujur barat dengan kedalaman 35 meter, sedang titik terendah berada di ujung barat

laut. Hal ini sesuai dengan pola pembagian relief yang ada dan juga mempengaruhi profil dari lapisan-lapisan batuan.

B. Profil Lapisan Batuan

Profil lapisan batuan didapatkan dan data sub-bottom profiler. Namun sebelum terbentuk menjadi tampilan yang benar, perlu dipahami bahwa data sub-bottom profiler harus diekstrak terlebih dahulu.

Hasil scan dari kertas termal sub-bottom profiler untuk lintasan BA1 selanjutnya di proses untuk mendapatkan model kedalaman dari lintasan ini (Tabel 1). Gambar tersebut selanjutnya dikonversi menjadi nilai fungsi kedalaman dari nilai cepat rambat gelombang, sehingga bisa diprediksi kedalaman dari pasir mineral tersebut. Adapun untuk jarak memanjang terbagi atas 6 bagian yang di batasi oleh 6 garis dengan keterangan kode termasuk garis batas kiri dengan jarak acak. Setiap garis tersebut mewakili titik ilcat koordinat yang membatasi tiap bagian. Titik-titik tersebut di sebut dengan stasiun lintasan atau titik ikat. Lintasan sub-bottom profiler ini diatur sedemikian rupa agar mendapatkan data yang maksimal sesuai dengan harapan.

Untuk tampilan gambar sub-bottom profiler lintasan BA1 (Gambar 11), terdapat dua bagian yaitu bagian kolom perairan yang tidak memiliki cetakan tinta sama sekali dan bagian pantulan dasar laut yang ditandai dengan banyaknya cetakan tinta. Pada bagian pantulan dasar laut banyak terdapat berkas-berkas yang memenuhi

bidang gambar dari bagian permukaan dasar laut hingga bagian bawah bidang gambar. Dari berkas-berkas tersebut, tidak semua akan di ambil sebagai data pantulan bawah permukaan, namun hanya pantulan yang kuat saja yang akan didefinisikan sebagai lapisan. Dan lapisan-lapisan yang ada tersebut pun perlu dipisahkan menjadi bagian yang merupakan pantulan sebenarnya dan bagian mana yang merupakan pantulan dari permukaan. Untuk itu hanya diambil berkas-berkas yang berada di permukaan dasar laut.

Tabel 1. Koordinat Stasiun Lintasan/Titik Ikat dari Lintasan BA1.

Stasiun Lintasan	Latitude	Longitude
BA-11	2° 5'58.65"N	101°34'23.97"E
BA-12	2° 6'1.17"N	101°34'22.21"E
BA-13	2° 6'3.58"N	101°34'20.63"E
BA-14	2° 6'6.03"N	101°34'18.68"E
BA-15	2° 6'8.79"N	101°34'16.84"E
BA-16	2° 6'11.81"N	101°34'14.51"E

Lapisan-lapisan dan dasar laut yang terdapat pada wilayah ini memiliki fase naik turun yang hampir seragam. Hal ini tampak dengan perubahan posisi dari tiap lapisan yang saling bertumpuk hampir sama dengan lapisan di atasnya. Namun hal ini tidak terjadi pada ketebalan dari tiap lapisan, yang jika diamati berubah dalam berbagai posisi, faktor ketebalan yang berbeda ini juga dapat membuktikan bahwa berkas tersebut mewakili lapisan yang berbeda dengan lapisan di atasnya. Bentuk relief dan berkas-berkas ini sangat mirip dengan relief yang didapat dari pemodelan bathimetri. Namun

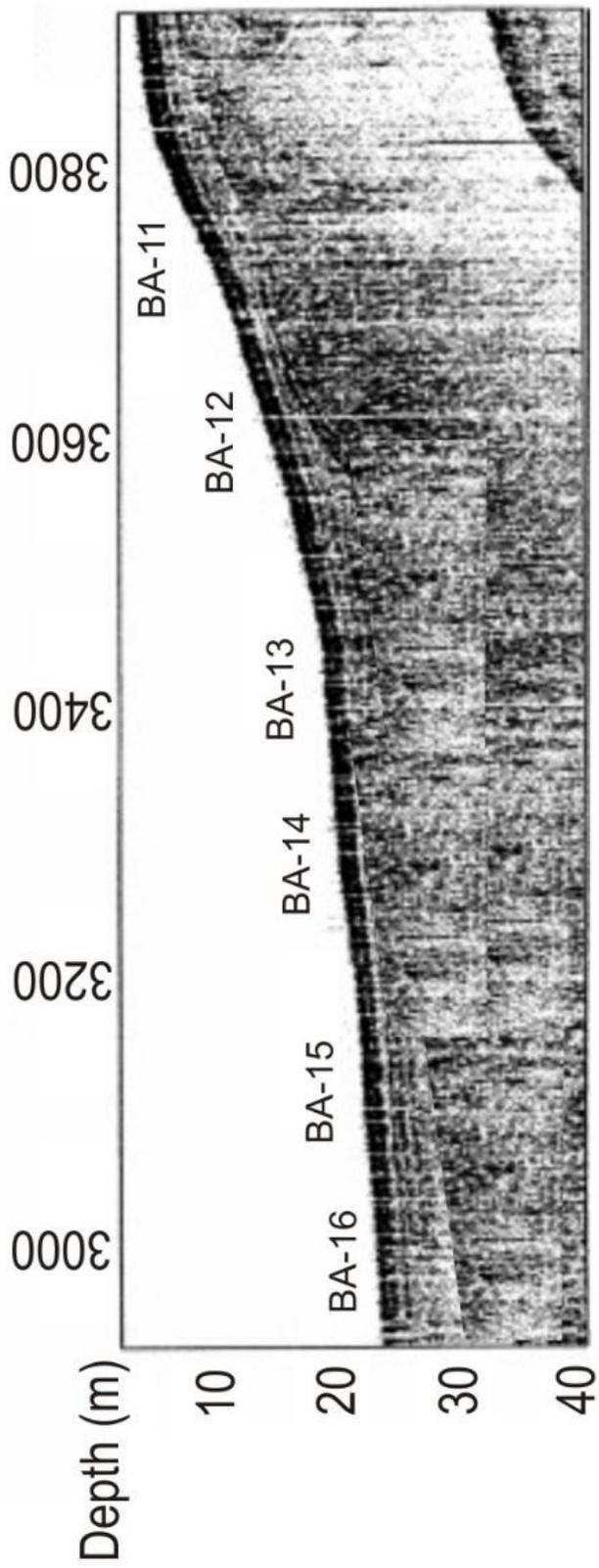
adanya bagian yang seperti terhapus pada daerah kiri dari kertas membuat daerah tersebut tidak dapat diamati. Bentuk ini juga terjadi pada lintasan BA2. Dari penampang melintang sub-bottom profiler di lintasan BA1, dapat dibuat model ketebalan (Gambar 12) dari pasir mineral yang terdapat di kawasan observasi ini, yaitu di bagian barat dari Beting Acheh. Model yang dibuat berdasarkan data yang diberikan oleh sub-bottom profiler.

Disini dapat dilihat ketebalan pasir mineral di kawasan ini adalah lebih kurang 30 meter. Pada lintasan BA1, kemunculan pasir mineral dimulai pada kedalaman 5 meter dan berlanjut sampai ke kedalaman 40 meter lebih, namun pada bagian timur (paling ujung) dari model penampang melintang ini sudah ditemui batuan dasar/*bed rock* yang ditutupi oleh pasir mineral yang tersebar di kawasan ini. Sebaran pasir mineral ini berlanjut kearah barat atau kearah lautan dari bagian barat Beting Acheh.

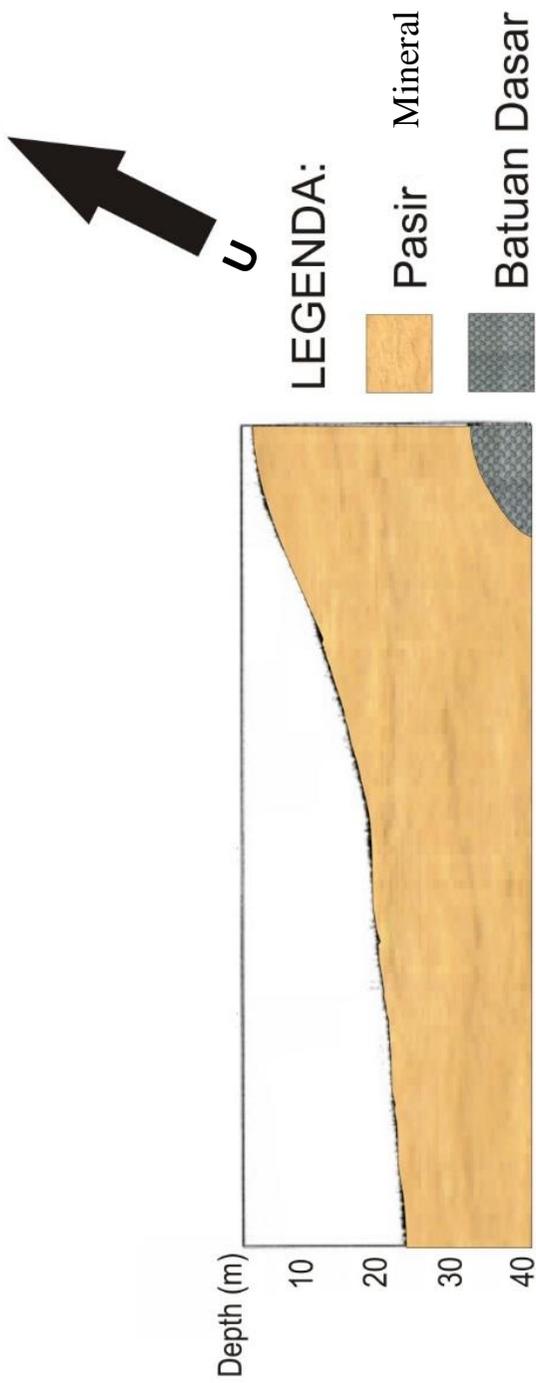
Selanjutnya setelah model ketebalan pasir mineral ini selesai dibuat, maka akan dapat diestimasikan volume dari pasir mineral yang terdapat di kawasan observasi setelah mengenal secara pasti sebaran pasir mineral ini terlebih dahulu sehingga perhitungan volume pasir mineral ini akan dapat dihitung dengan tepat dan representatif.

REKAMAN SUB BOTTOM PROFILER
LINTASAN BA1

2° 5'58.65"N
101°34'23.97"E



Gambar 11. Rekaman Sub-bottom profiler lintasan BA1.



Gambar 12. Model Ketebalan Pasir Mineral yang Terdapat pada Lintasan BA1.

Tabel 2. Koordinat Stasiun Lintasan/Titik Ikat dari Lintasan BA2

Stasiun Lintasan	Latitude	Longitude
BA-21	2° 6'5.37"N	101°34'38.16"E
BA-22	2° 6'7.02"N	101°34'37.47"E
BA-23	2° 6'8.88"N	101°34'36.66"E
BA-24	2° 6'10.64"N	101°34'36.02"E
BA-25	2° 6'11.93"N	101°34'35.29"E
BA-26	2° 6'13.08"N	101°34'34.77"E
BA-27	2° 6'14.37"N	101°34'34.30"E
BA-28	2° 6'15.89"N	101°34'33.70"E
BA-29	2° 6'17.49"N	101°34'32.99"E
BA-210	2° 6'18.93"N	101°34'32.33"E

Dari koordinat lintang dan urutan stasiun lintasan BA2 (Tabel 2), di atas dapat dilihat bahwa lintasan ini dimulai dari bagian selatan menuju utara. Dari model penampang melintang sub-bottom profiler pada lintasan BA2, terdapat banyak jumlah garis lintasan stasiun yang lebih banyak dari jumlah garis lintasan stasiun BA1, hal ini berpengaruh terhadap akurasi dari berkas dimana lebih banyak lintasan stasiun berarti bagian yang berada di antara garis lintasan akan lebih pendek serta memiliki interpolasi data koordinat yang lebih sedikit.

Dari tabel tersebut dapat terlihat bahwa lebar dari tiap bagian tidak berbeda jauh, titik-titik koordinat hasil interpolasi tidak akan menyimpang jauh dari lintasan. Titik koordinat paling utara dari lintasan BA2 yaitu 2°6'18.93"N berada lebih utara dari ujung utara

lintasan BA2. Ini berarti lintasan BA2 lebih panjang dan memiliki data yang lebih lengkap dibanding lintasan BA1. Pantulan ulang pada bagian utara jelas terlihat sebagai duplikat dari pantulan pertama yang berada di dekat permukaan dasar laut. Untuk daerah selatan yang lebih dalam kembali terjadi keanehan seperti yang juga terjadi pada lintasan BA1 dimana terdapat berkas-berkas lain yang berada di bawah berkas-berkas permukaan. Namun sama halnya dengan lintasan BA1, berkas-berkas ini tidak akan dimasukkan menjadi berkas pantulan lapisan bawah permukaan dasar laut karena ketidakjelasan alur dari berkas-berkas tersebut yang berujung pada hilangnya alur pada beberapa tempat pada lintasan BA2. Untuk bentuk dari alur berkas-berkas permukaan, tampak sesuai dengan relief permukaan yang dihasilkan oleh pemodelan bathimetri dan juga sesuai dengan lintasan SBP BA1.

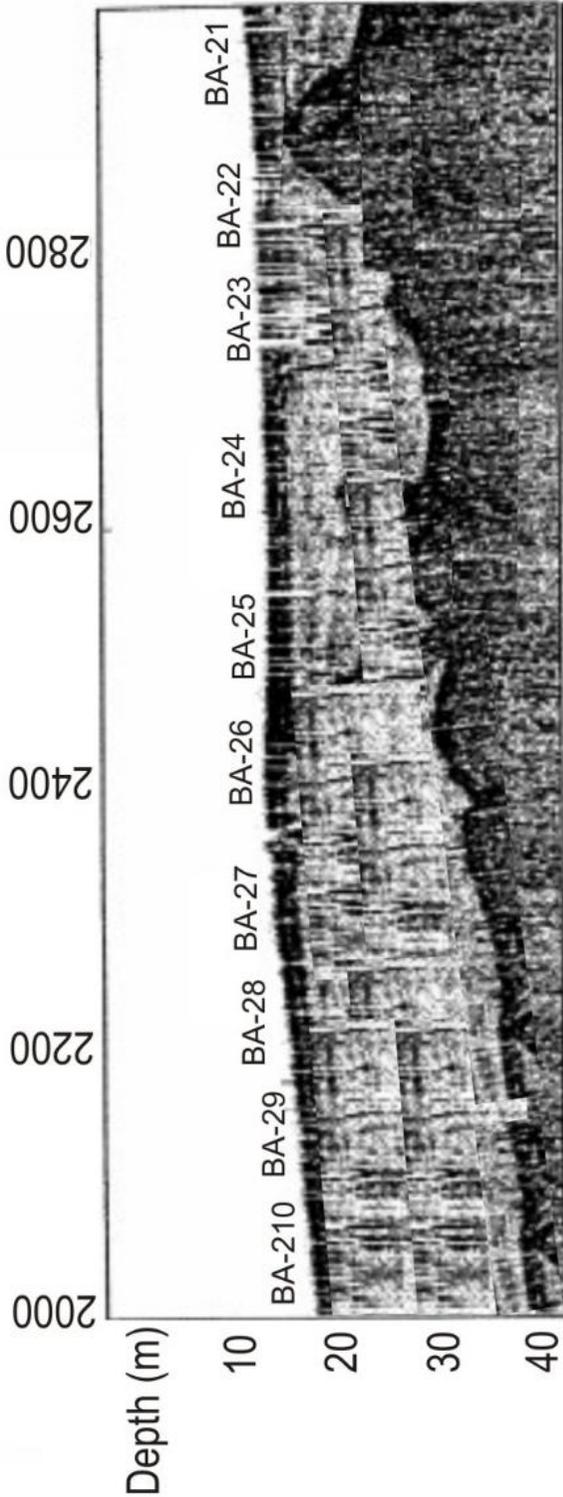
Untuk tampilan gambar sub-bottom profiler lintasan BA2 (Gambar 13), terdapat dua bagian yaitu bagian kolom perairan yang tidak memiliki cetakan tinta sama sekali dan bagian pantulan dasar laut yang ditandai dengan banyaknya cetakan tinta. Pada bagian pantulan dasar laut banyak terdapat berkas-berkas yang memenuhi bidang gambar dari bagian permukaan dasar laut hingga bagian bawah bidang gambar. Dari berkas-berkas tersebut, tidak semua akan di ambil sebagai data pantulan bawah permukaan, namun hanya pantulan yang kuat saja yang akan didefinisikan sebagai lapisan. Dan lapisan-lapisan yang ada tersebut pun perlu dipisahkan menjadi bagian yang merupakan pantulan sebenarnya dan bagian

mana yang merupakan pantulan dari permukaan. Untuk itu hanya diambil berkas-berkas yang berada di permukaan dasar laut.

Lapisan-lapisan dari dasar laut yang terdapat pada wilayah ini memiliki fase naik turun yang hampir seragam. Hal ini tampak dengan perubahan posisi dari tiap lapisan yang saling bertumpuk hampir sama dengan lapisan di atasnya. Namun hal ini tidak terjadi pada ketebalan dari tiap lapisan, yang jika diamati berubah dalam berbagai posisi, faktor ketebalan yang berbeda ini juga dapat membuktikan bahwa berkas tersebut mewakili lapisan yang berbeda dengan lapisan di atasnya.

Bentuk relief dan berkas-berkas ini sangat mirip dengan relief yang didapat dari pemodelan bathimetri. Namun adanya bagian yang seperti terhapus pada daerah kiri dari kertas membuat daerah tersebut tidak dapat diamati. Bentuk ini juga terjadi pada lintasan PB1. Dari penampang melintang sub-bottom profiler di lintasan BA2, dapat dibuat model ketebalan dari pasir mineral yang terdapat di kawasan observasi ini, yaitu di bagian timur dari Beting Aceh. Model yang dibuat berdasarkan data yang diberikan oleh sub-bottom profiler. Dapat dilihat ketebalan pasir mineral di kawasan ini adalah lebih kurang 20 meter. Pada lintasan BA1, kemunculan pasir mineral dimulai pada kedalaman 10 meter dan berlanjut sampai ke kedalaman 40 meter. Pada penampang melintang ini dapat terlihat jelas batuan dasar/*bed rock* yang ditutupi oleh pasir mineral yang tersebar di kawasan ini. Sebaran pasir mineral ini berlanjut ke arah barat atau ke arah lautan dari bagian barat Beting Aceh.

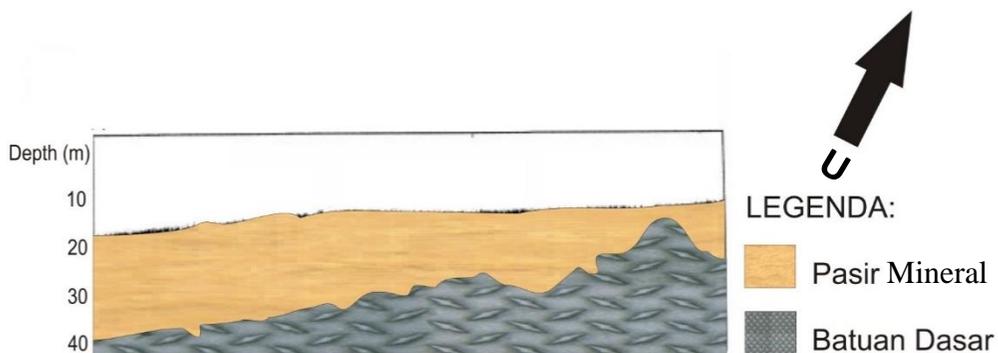
2° 6'5.37"N
101°34'38.16"E



Gambar 13. Rekaman Sub-bottom profiler lintasan BA2.

Selanjutnya setelah model ketebalan pasir mineral ini selesai dibuat, maka akan dapat diestimasi volume dari pasir mineral yang terdapat di kawasan observasi setelah mengenal secara pasti sebaran pasir mineral ini terlebih dahulu sehingga perhitungan volume pasir mineral ini akan dapat dihitung dengan tepat dan representatif.

Dari koordinat lintang dan urutan stasiun lintasan PB1 (Tabel 3) di atas dapat dilihat bahwa lintasan ini dimulai dari bagian tenggara menuju barat laut. Dari model penampang melintang sub-bottom profiler pada lintasan PB1 (Gambar 14), terdapat banyak jumlah garis lintasan stasiun yang lebih banyak dari jumlah garis lintasan stasiun BA1, hal ini berpengaruh terhadap akurasi dari berkas dimana lebih banyak lintasan stasiun berarti bagian yang berada di antara garis lintasan akan lebih pendek serta memiliki interpolasi data koordinat yang lebih sedikit.



Gambar 14. Model Ketebalan Pasir mineral yang Terdapat pada Lintasan BA2.

Tabel 3. Koordinat Stasiun Lintasan/Titik Ikat dari Lintasan PB1

Stasiun Lintasan	Latitude	Longitude
PB-11	2° 6'54.61"N	101°37'28.43"E
PB-12	2° 6'55.84"N	101°37'27.91"E
PB-13	2° 6'56.98"N	101°37'27.19"E
PB-14	2° 6'58.03"N	101°37'26.52"E
PB-15	2° 6'59.27"N	101°37'25.67"E
PB-16	2° 7'0.63"N	101°37'24.93"E
PB-17	2° 7'1.87"N	101°37'24.19"E
PB-18	2° 7'3.23"N	101°37'23.23"E
PB-19	2° 7'4.52"N	101°37'22.36"E
PB-110	2° 7'6.54"N	101°37'21.13"E

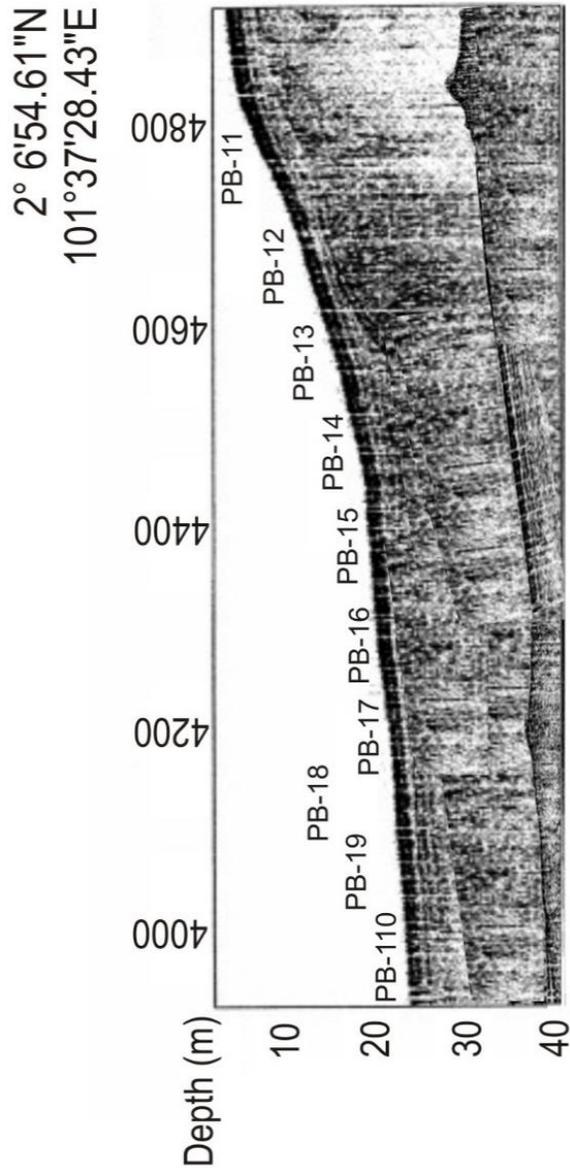
Dari tabel tersebut dapat terlihat bahwa lebar dari tiap bagian tidak berbeda jauh, titik-titik koordinat hasil interpolasi tidak akan menyimpang jauh dari lintasan. Titik koordinat paling tenggara dari lintasan PB1 yaitu 2°6'54.61"N berada lebih selatan dari ujung lintasan PB1. Ini berarti lintasan PB1 lebih panjang dan memiliki data yang lebih lengkap dibanding lintasan BA1. Pantulan ulang pada bagian utara jelas terlihat sebagai duplikat dari pantulan pertama yang berada di dekat permukaan dasar laut. Untuk daerah barat laut yang lebih dalam kembali terjadi keanehan seperti yang juga terjadi pada lintasan BA1 dimana terdapat berkas-berkas lain yang berada di bawah berkas-berkas permukaan. Namun sama halnya dengan lintasan BA1, berkas-berkas ini tidak akan dimasukkan menjadi berkas pantulan lapisan bawah permukaan dasar laut karena ketidakjelasan alur dari berkas-berkas tersebut yang berujung pada hilangnya alur pada beberapa tempat pada lintasan PB1. Untuk

bentuk dari alur berkas-berkas permukaan, tampak sesuai dengan relief permukaan yang dihasilkan oleh pemodelan bathimetri dan juga sesuai dengan lintasan SBP PB1.

Untuk tampilan gambar sub-bottom profiler lintasan PB1 (Gambar 15), terdapat dua bagian yaitu bagian kolom perairan yang tidak memiliki cetakan tinta sama sekali dan bagian pantulan dasar laut yang ditandai dengan banyaknya cetakan tinta. Pada bagian pantulan dasar laut banyak terdapat berkas-berkas yang memenuhi bidang gambar dari bagian permukaan dasar laut hingga bagian bawah bidang gambar. Dari berkas-berkas tersebut, tidak semua akan di ambil sebagai data pantulan bawah permukaan, namun hanya pantulan yang kuat saja yang akan didefinisikan sebagai lapisan. Dan lapisan-lapisan yang ada tersebut pun perlu dipisahkan menjadi bagian yang merupakan pantulan sebenarnya dan bagian mana yang merupakan pantulan dari permukaan. Untuk itu hanya diambil berkas-berkas yang berada di permukaan dasar laut.

Lapisan-lapisan dari dasar laut yang terdapat pada wilayah ini memiliki fase naik turun yang hampir seragam. Hal ini tampak dengan perubahan posisi dari tiap lapisan yang saling bertumpuk hampir sama dengan lapisan di atasnya. Namun hal ini tidak terjadi pada ketebalan dari tiap lapisan, yang jika diamati berubah dalam berbagai posisi, faktor ketebalan yang berbeda ini juga dapat membuktikan bahwa berkas tersebut mewakili lapisan yang berbeda dengan lapisan di atasnya.

Bentuk relief dan berkas-berkas ini sangat mirip dengan relief yang didapat dari pemodelan bathimetni. Namun adanya bagian yang seperti terhapus pada daerah kiri dari kertas membuat daerah tersebut tidak dapat diamati. Bentuk ini juga terjadi pada lintasan PB2.



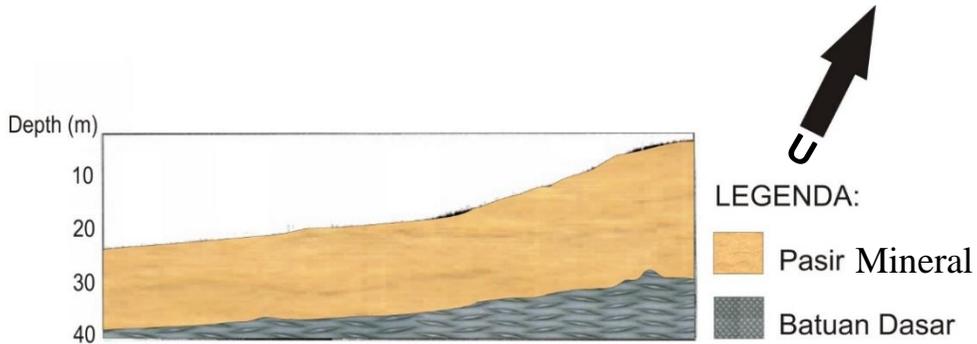
Gambar 15. Rekaman Sub-bottom profiler lintasan PB1.

Dari penampang melintang sub-bottom profiler di lintasan PB1, dapat dibuat model ketebalan dari pasir mineral yang terdapat di kawasan observasi ini (Gambar 16), yaitu di bagian barat daya dari Pulau Beruk. Model yang dibuat berdasarkan data yang diberikan oleh sub-bottom profiler. Disini dapat dilihat ketebalan pasir mineral di kawasan ini adalah lebih kurang 30 meter. Pada lintasan PB1, kemunculan pasir mineral dimulai pada kedalaman 3 meter dan berlanjut sampai ke kedalaman 40 meter. Pada penampang melintang ini dapat terlihat jelas batuan dasar/*bed rock* yang ditutupi oleh pasir mineral yang tersebar di kawasan ini. Sebaran pasir mineral ini berlanjut ke arah barat laut atau ke arah lautan dari bagian barat daya Pulau Beruk.

Selanjutnya setelah model ketebalan pasir mineral ini selesai dibuat, maka akan dapat diestimasi volume dari pasir mineral yang terdapat di kawasan observasi setelah mengenal secara pasti sebaran pasir mineral ini terlebih dahulu sehingga perhitungan volume pasir mineral ini akan dapat dihitung dengan tepat dan representatif.

Dari koordinat lintang dan urutan stasiun lintasan PB2 (Tabel 4) di atas dapat dilihat bahwa lintasan ini dimulai dari bagian tenggara menuju barat laut. Dari model penampang melintang sub-bottom profiler pada lintasan PB2, terdapat banyak jumlah garis lintasan stasiun yang lebih banyak dari jumlah garis lintasan stasiun BA1, hal ini berpengaruh terhadap akurasi dari berkas dimana lebih banyak lintasan stasiun berarti bagian yang berada di antara garis

lintasan akan lebih pendek serta memiliki interpolasi data koordinat yang lebih sedikit.



Gambar 16. Model Ketebalan Pasir mineral yang Terdapat pada Lintasan PB1.

Tabel 4. Koordinat Stasiun Lintasan/Titik Ikat dari Lintasan PB2

Stasiun Lintasan	Latitude	Longitude
PB-21	2° 7'24.44"N	101°38'32.58"E
PB-22	2° 7'26.43"N	101°38'31.57"E
PB-23	2° 7'28.25"N	101°38'30.51"E
PB-24	2° 7'30.11"N	101°38'29.49"E
PB-25	2° 7'31.79"N	101°38'28.51"E
PB-26	2° 7'33.59"N	101°38'27.25"E
PB-27	2° 7'36.32"N	101°38'25.90"E
PB-28	2° 7'38.53"N	101°38'24.57"E
PB-29	2° 7'41.50"N	101°38'22.80"E
PB-210	2° 7'44.83"N	101°38'20.82"E

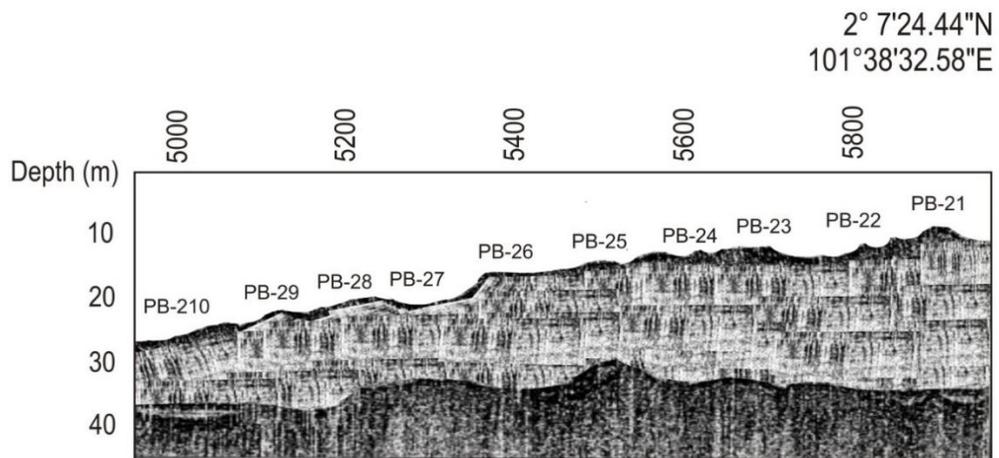
Dari tabel tersebut dapat terlihat bahwa lebar dari tiap bagian tidak berbeda jauh, titik-titik koordinat hasil interpolasi tidak akan menyimpang jauh dari lintasan. Titik koordinat paling tenggara dari lintasan PB1 yaitu 2° 7'24.44"N berada lebih selatan dari ujung

lintasan PB2. Ini berarti lintasan PB2 lebih panjang dan memiliki data yang lebih lengkap dibanding lintasan BA1. Pantulan ulang pada bagian utara jelas terlihat sebagai duplikat dari pantulan pertama yang berada di dekat permukaan dasar laut. Untuk daerah barat laut yang lebih dalam kembali terjadi keanehan seperti yang juga terjadi pada lintasan PB2 dimana terdapat berkas-berkas lain yang berada di bawah berkas-berkas permukaan. Namun sama halnya dengan lintasan BA1, berkas-berkas ini tidak akan dimasukkan menjadi berkas pantulan lapisan bawah permukaan dasar laut karena ketidakjelasan alur dari berkas-berkas tersebut yang berujung pada hilangnya alur pada beberapa tempat pada lintasan PB2. Untuk bentuk dari alur berkas-berkas permukaan, tampak sesuai dengan relief permukaan yang dihasilkan oleh pemodelan bathimetri dan juga sesuai dengan lintasan SBP PB2.

Untuk tampilan gambar sub-bottom profiler lintasan PB2 (Gambar 17), terdapat dua bagian yaitu bagian kolom perairan yang tidak memiliki cetakan tinta sama sekali dan bagian pantulan dasar laut yang ditandai dengan banyaknya cetakan tinta. Pada bagian pantulan dasar laut banyak terdapat berkas-berkas yang memenuhi bidang gambar dari bagian permukaan dasar laut hingga bagian bawah bidang gambar. Dari berkas-berkas tersebut, tidak semua akan di ambil sebagai data pantulan bawah permukaan, namun hanya pantulan yang kuat saja yang akan didefinisikan sebagai lapisan. Dan lapisan-lapisan yang ada tersebut pun perlu dipisahkan menjadi bagian yang merupakan pantulan sebenarnya dan bagian

mana yang merupakan pantulan dari permukaan. Untuk itu hanya diambil berkas-berkas yang berada di permukaan dasar laut.

Lapisan-lapisan dari dasar laut yang terdapat pada wilayah ini memiliki fase naik turun yang hampir seragam. Hal ini tampak dengan perubahan posisi dari tiap lapisan yang saling bertumpuk hampir sama dengan lapisan di atasnya. Namun hal ini tidak terjadi pada ketebalan dari tiap lapisan, yang jika diamati berubah dalam berbagai posisi, faktor ketebalan yang berbeda ini juga dapat membuktikan bahwa berkas tersebut mewakili lapisan yang berbeda dengan lapisan di atasnya. Bentuk relief dan berkas-berkas ini sangat mirip dengan relief yang didapat dari pemodelan bathimetni. Namun adanya bagian yang seperti terhapus pada daerah kiri dari kertas membuat daerah tersebut tidak dapat diamati.



Gambar 17. Rekaman Sub-bottom profiler Lintasan PB2.

Dari penampang melintang sub-bottom profiler di lintasan PB2, dapat dibuat model ketebalan dari pasir mineral yang terdapat di kawasan observasi ini (Gambar 18), yaitu di bagian timur laut dari

Pulau Beruk. Model yang dibuat berdasarkan data yang diberikan oleh sub-bottom profiler. Disini dapat dilihat ketebalan pasir mineral di kawasan ini adalah lebih kurang 25 meter. Pada lintasan PB2, kemunculan pasir mineral dimulai pada kedalaman 10 meter dan berlanjut sampai ke kedalaman kurang dari 40 meter. Pada penampang melintang ini dapat terlihat jelas batuan dasar/*bed rock* yang ditutupi oleh pasir mineral yang tersebar di kawasan ini. Sebaran pasir mineral ini berlanjut ke arah barat laut atau ke arah lautan dari bagian barat daya Pulau Beruk.

Selanjutnya setelah model ketebalan pasir mineral ini selesai dibuat, maka akan dapat diestimasi volume dari pasir mineral yang terdapat di kawasan observasi setelah mengenal secara pasti sebaran pasir mineral ini terlebih dahulu sehingga perhitungan volume pasir mineral ini akan dapat dihitung dengan tepat dan representatif.

Dari keseluruhan rekaman sub-bottom profiler yang telah dilaksanakan, dapat dilihat bahwa berkas yang terekam jelas memperlihatkan relief lapisan. Semua lintasan juga memperlihatkan relief permukaan dasar laut yang mirip dengan hasil pemodelan bathimetri. lintasan juga memperlihatkan pantulan di bawah lapisan-lapisan dekat permukaan. Namun pembatasan dilakukan untuk menjaga konsistensi dan pengolahan model lapisan.

Keempat lintasan yang sudah dibahas akan dibentuk menjadi suatu model penampang melintang dengan menggabungkan data

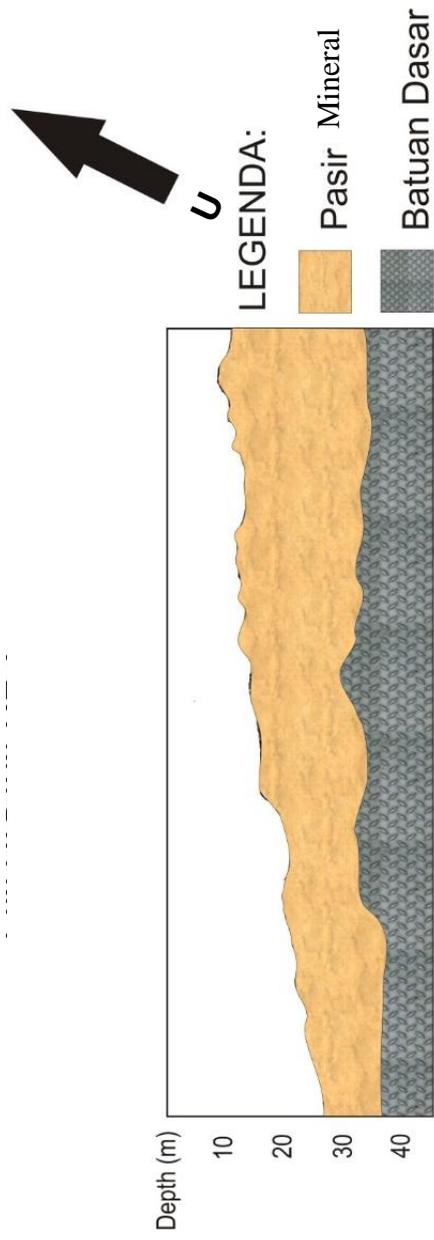
SIG yang menunjukkan sebaran pasir mineral secara luas, sehingga bisa dihitung estimasi sebaran dan volume pasir mineral yang terdapat di pulau Rupert bagian utara.

Pemodelan dari lapisan bawah permukaan dasar laut pada merupakan hasil penggabungan dari keempat lintasan survei sub-bottom profiler yang telah dilaksanakan pada daerah pulau Rupert bagian utara tepatnya di area Beting Aceh dan pulau Beruk.

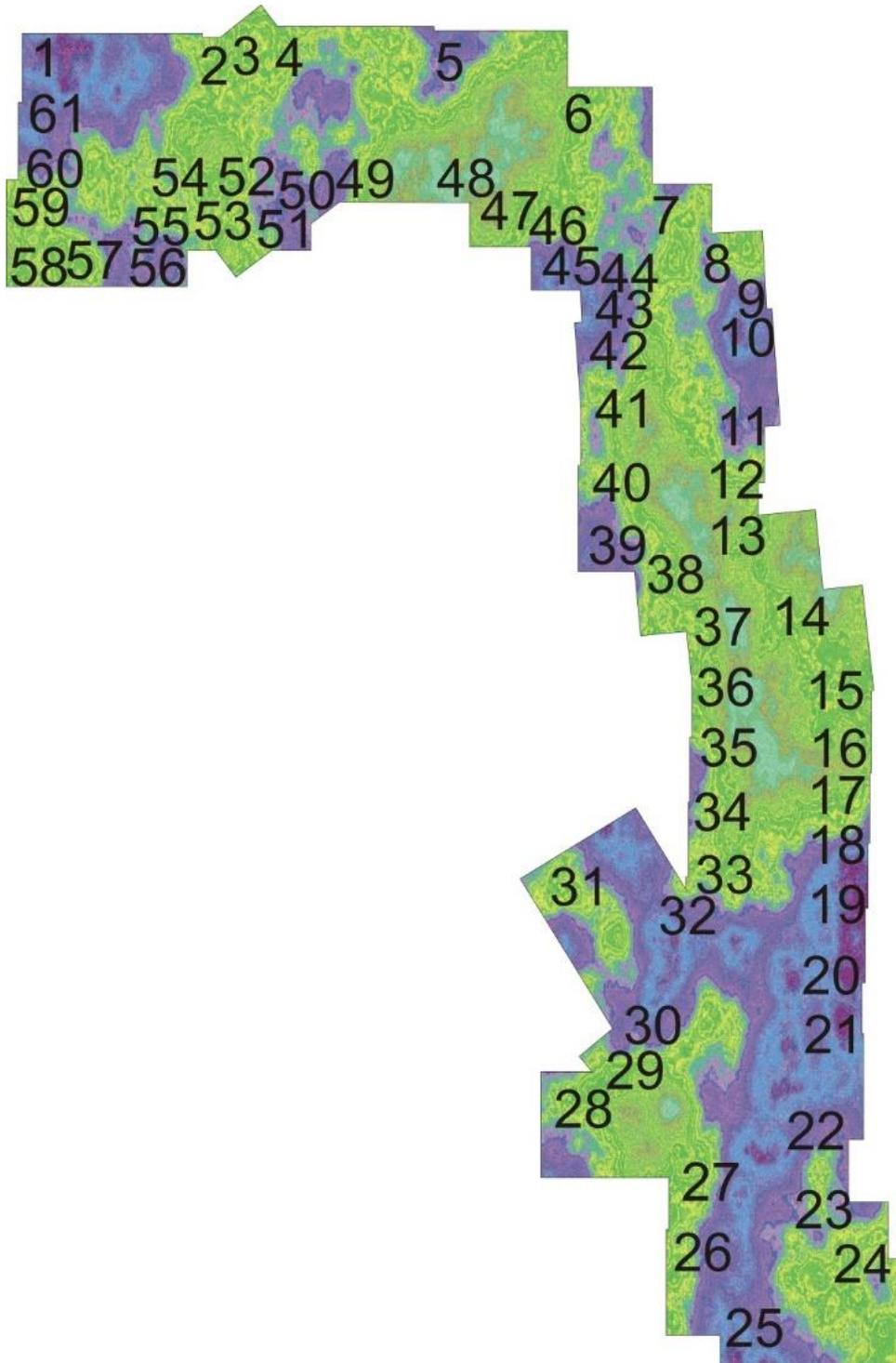
Perbedaan yang terdapat antara interpretasi data bathimetri dan data sub-bottom profiler antara lain adalah detail gerigi yang lebih banyak terdapat pada data atau gambar penampang melintang dari sub-bottom profiler, hal ini menunjukkan bahwa data sub-bottom profiler memberikan gambaran detail dari lapisan yang terdapat di bawah permukaan laut, sementara data bathimetri juga tak kalah pentingnya karena data bathimetri memberikan gambaran tentang topografi bawah permukaan laut. Data bathimetri sangat diperlukan sebagai acuan utama dalam menginterpretasikan data sub-bottom profiler.

C. Analisa SIG Terhadap Sebaran Pasir Mineral

Pemetaan dengan teknik SIG seperti citra satelit dan foto udara telah dilaksanakan di pulau Rupert bagian utara. Pemetaan ini mengambil daerah observasi sebanyak 61 titik observasi (Gambar 19) dengan keluasan area observasi kurang lebih 300km². Dengan titik observasi pertama berada pada koordinat latitude 2°06'22.09"N dan longitude 101°32'23.96"E.



Gambar 18. Model Ketebalan Pasir mineral yang Terdapat pada Lintasan PB2.



Gambar 19. Peta Grid/Daerah Cakupan Observasi di Pulau Rupa Bagian Utara.

Daerah observasi ini meliputi bagian barat laut hingga bagian timur pulau Rupert, sedangkan untuk cakupan wilayah observasi hanya berada di daerah perairan pulau Rupert bagian utara saja, karena sebaran pasir mineral di pulau Rupert hanya terdapat di pulau Rupert bagian utara, tepatnya di kawasan pantai kearah laut pulau Rupert bagian utara.

Untuk luas cakupan area seperti yang telah dibahas sebelumnya adalah lebih kurang 300 km². Pembagian ini meliputi wilayah pantai ke laut (arah utara pulau Rupert). Pembatasan ini dilakukan karena keterbatasan pembagian wilayah observasi yang disebabkan oleh daerah pulau rupert yang terlalu luas. Selain itu, pembatasan wilayah observasi ini adalah hanya difokuskan pada daerah atau wilayah yang hanya terdapat sebaran pasir mineral potensial saja. Sebagaimana yang telah diketahui sebaran pasir mineral potensial yang terdapat di Pulau Rupert hanya terdapat di bagian utara pulau Rupert saja, terutama di bagian pesisir pantai/daerah yang berbatasan dengan laut yang merupakan bagian dari Selat Melaka.

Pasir mineral yang terdapat di pulau Rupert bukan berasal dari daratan pulau Rupert sendiri, melainkan berasal dari sedimen lautan yang dibawa oleh arus selat Melaka yang melintasi pulau Rupert bagian utara dan diendapkan di daerah pantai dan laut tersebut, dengan andaian bahwa daratan bagian utara pulau Rupert menjadi penghalang arus laut selat Melaka, sehingga sumber sedimen yang dibawa oleh arus laut selat Melaka terendap di bagian utara pulau

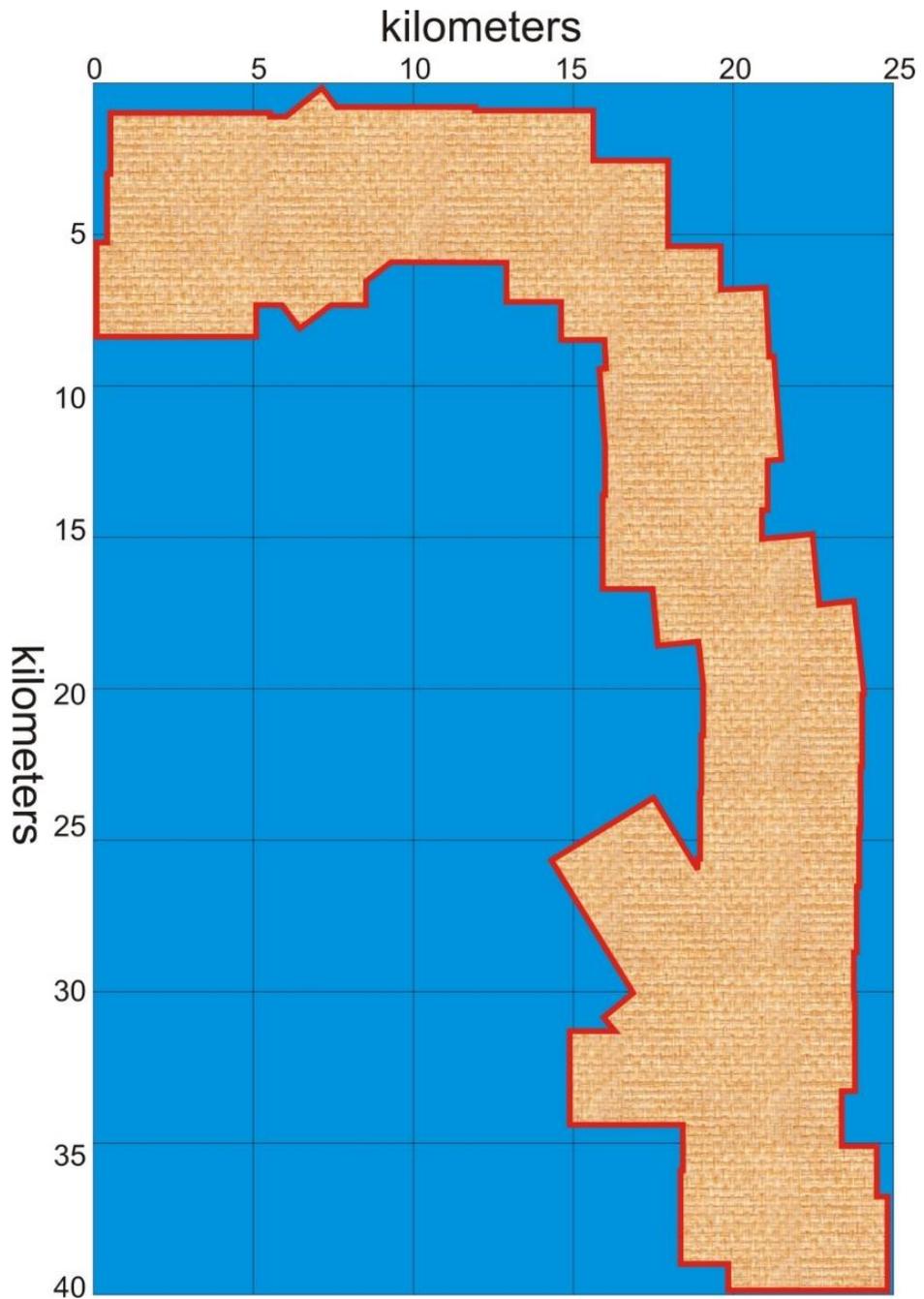
Rupat. Oleh karena itu pembatasan wilayah observasi dari SIG dan data citra satelit dibatasi pada bagian utara pulau Rupat yang mencakup daerah tepi pantai hingga ke laut. Namun begitu, daerah laut juga tidak secara keseluruhan turut dipetakan, hal ini karena keterbatasan data lautan yang tidak mampu ditembus oleh citra satelit, sehingga pembatasan terhadap wilayah-wilayah yang tercakupi saja yang mampu untuk dipetakan dan dijadikan sebagai daerah observasi SIG dan citra satelit serta foto udara (Gambar 20).

Sumber sedimen yang dibawa oleh arus selat Melaka sendiri berasal dari daerah laluan arus selat Melaka seperti laut Cina Selatan yang berada di tenggara dimana daerah ini kaya akan batuan beku granitan yang merupakan batuan sumber dari pasir mineral, dari sini, arus tersebut juga menyinggung dan mengikis batuan yang terdapat di Kepulauan Riau yang kaya akan batuan beku. Sementara laluan lain arus selat Melaka adalah berasal dari daerah barat laut. Di daerah ini juga kaya akan batuan beku dan batuan-batuan induk penghasil mineral silika.

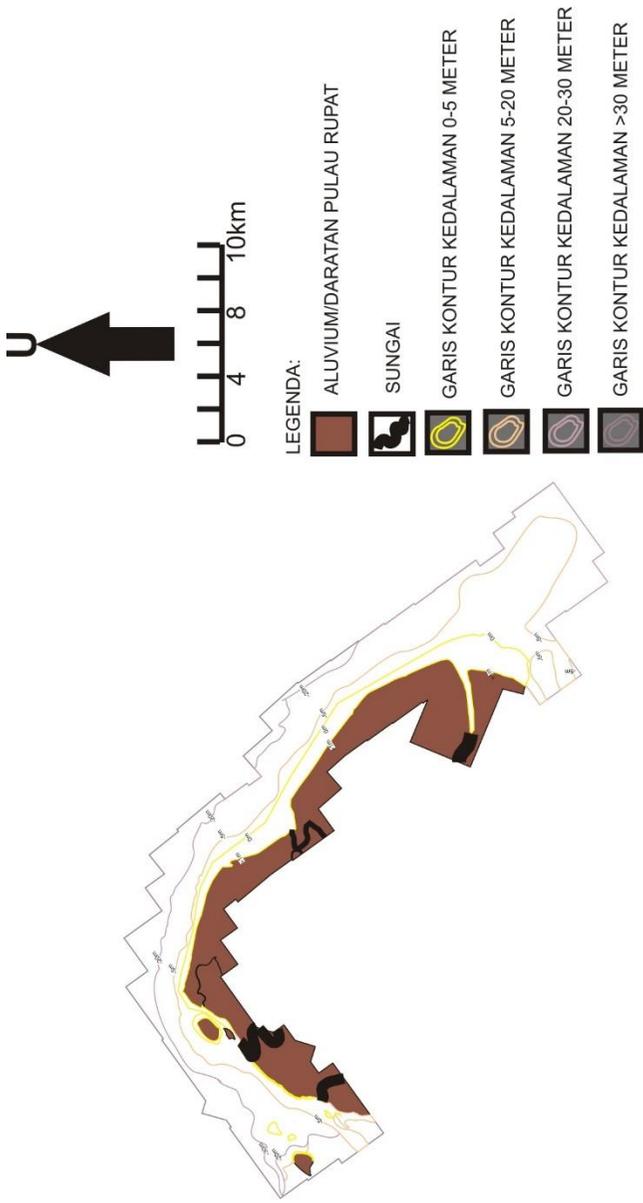
D. Kawasan Observasi Pasir Mineral

1. Pasir Mineral dengan Kedalaman 0 – 5 Meter

Setelah dilakukan observasi secara menyeluruh menggunakan teknik dan metode SIG dan citra satelit terhadap area pulau Rupat bagian utara, maka data SIG dan citra satelit selanjutnya dianalisis dan di proses untuk mengetahui sebaran pasir mineral yang terdapat di pulau Rupat bagian utara ini (Gambar 21).



Gambar 20. Luas Area Observasi Daerah Pulau Rupa Bagian Utara (ditandai oleh warna oren muda).

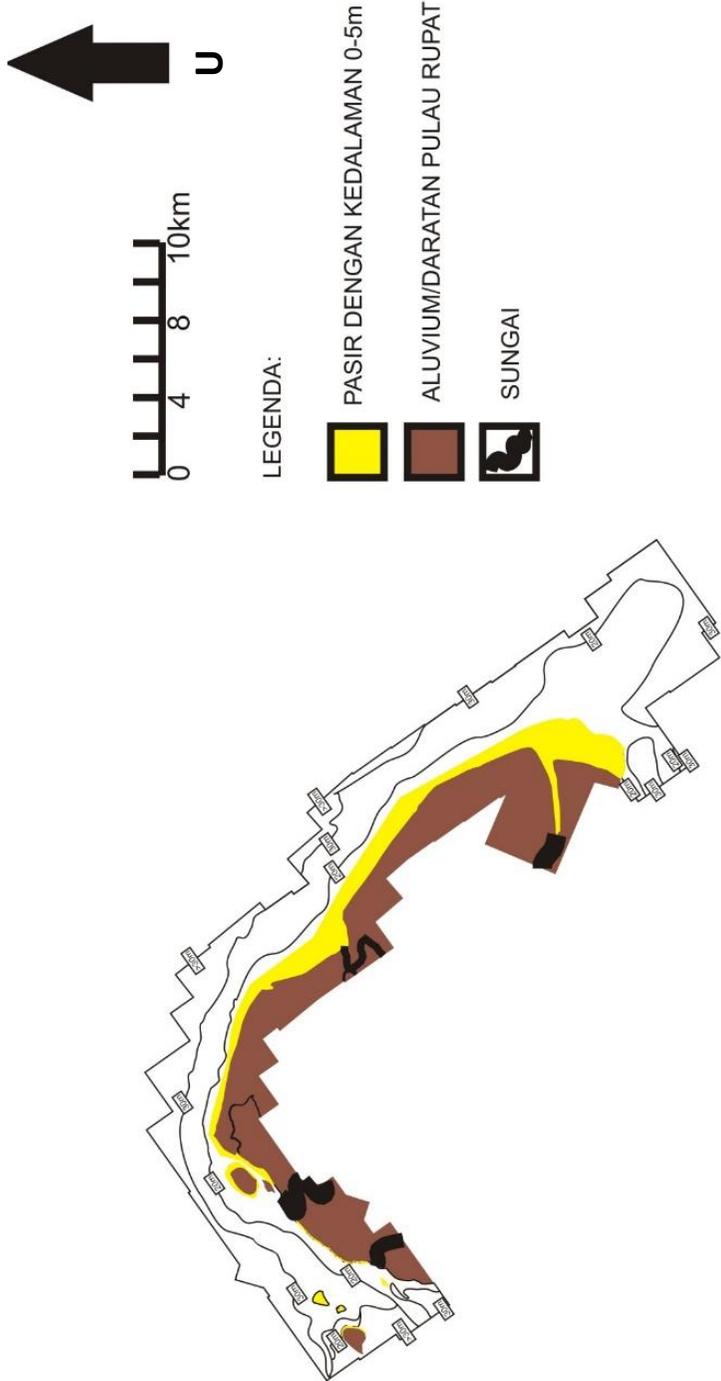


Gambar 21. Peta Kontur Sebaran Pasir mineral dengan Kedalaman 0-5 meter di Perairan Laut Pulau Rupat Bagian Utara.

Data citra satelit diproses dengan melakukan kombinasi observasi yang dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan untuk memastikan keberadaan pasir mineral tersebut. Observasi langsung di lapangan telah dilakukan di sepanjang perairan laut pulau Rukat bagian utara dengan menggunakan speed boat yang disewa. Pengamatan langsung di lapangan ini dilaksanakan bersama tim peneliti dari Fakultas Teknik Universitas Islam Riau bersama tim dari Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Riau dengan menggunakan 3 buah speed boat.

Pengamatan lapangan secara langsung membuktikan keberadaan pasir mineral di perairan pulau Rukat bagian utara. Selanjutnya data hasil pengamatan langsung di lapangan dikombinasikan dengan data SIG dan citra satelit untuk selanjutnya diproses sehingga bisa mendapatkan estimasi sebaran pasir mineral yang terdapat di perairan pulau Rukat bagian utara (Gambar 22).

Dari data SIG dan citra satelit, dapat diperoleh dan di proses data-data tersebut menjadi data sebaran pasir mineral. Dengan pengamatan citra satelit ini, didapati daerah yang memiliki sebaran pasir mineral yang berada di atas permukaan dan dibawah permukaan laut, dari data ini selanjutnya dikelompokkan sebaran pasir mineral tersebut, dimana pengelompokan tersebut bisa diperoleh sebaran pasir mineral yang berada diatas permukaan laut (0 meter) hingga pada kedalaman 5 meter sebagai golongan pertama dari sebaran pasir mineral yang terdapat di perairan laut pulau Rukat bagian utara.



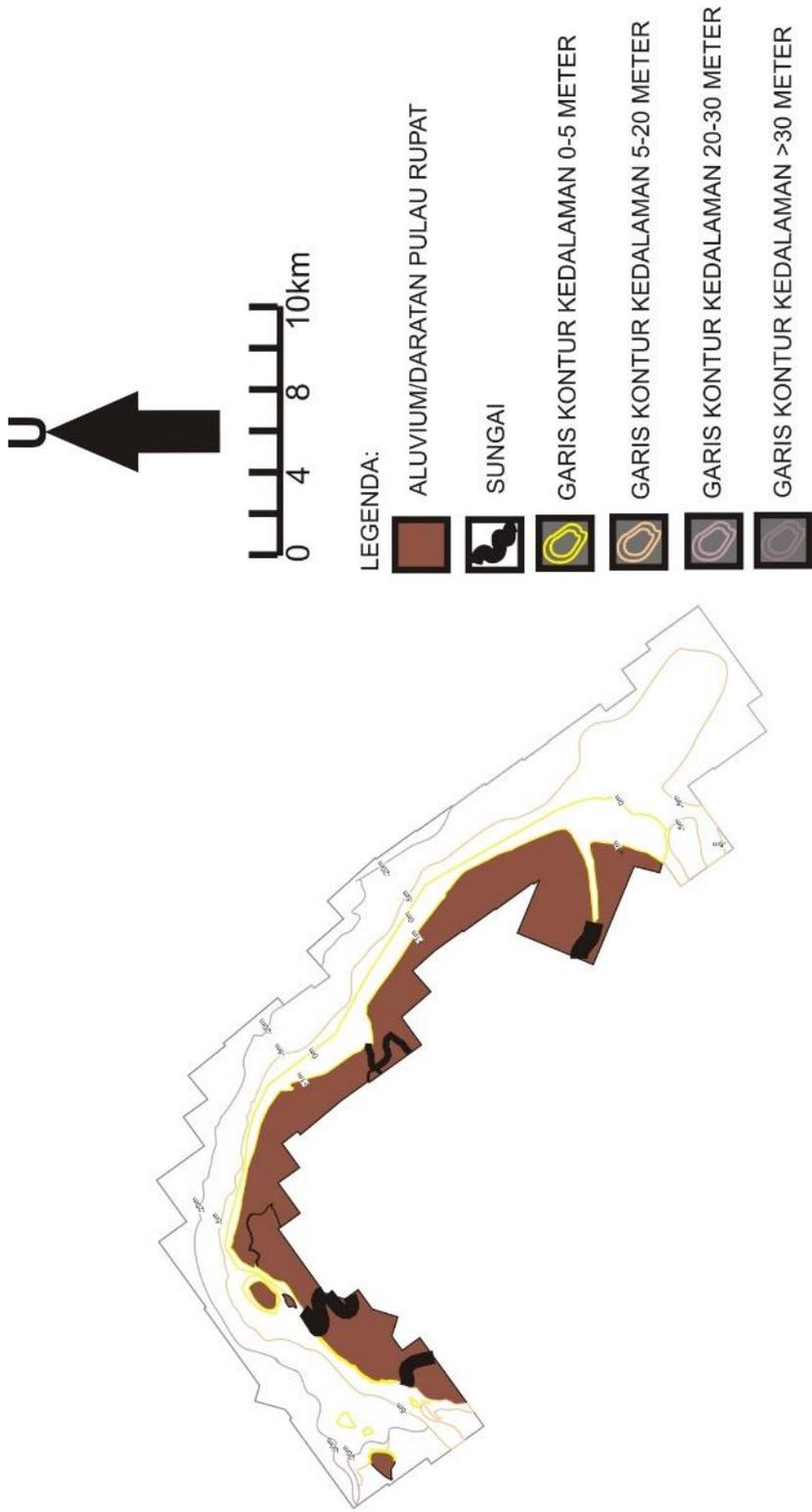
Gambar 22. Peta Sebaran Pasir mineral dengan Kedalaman 0-5 Meter.

Sebaran pasir mineral pada kedalaman 0-5 meter dari permukaan laut selanjutnya diestimasi persentasenya, dimana persentase untuk sebaran pasir mineral yang berada pada kedalaman 0- 5 meter adalah 15%. Selanjutnya proses data yang telah dilakukan, diaplikasikan untuk membuat peta kontur dan peta sebaran pasir mineral dengan kedalaman 0-5 meter di perairan laut pulau Rupa bagian utara seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut.

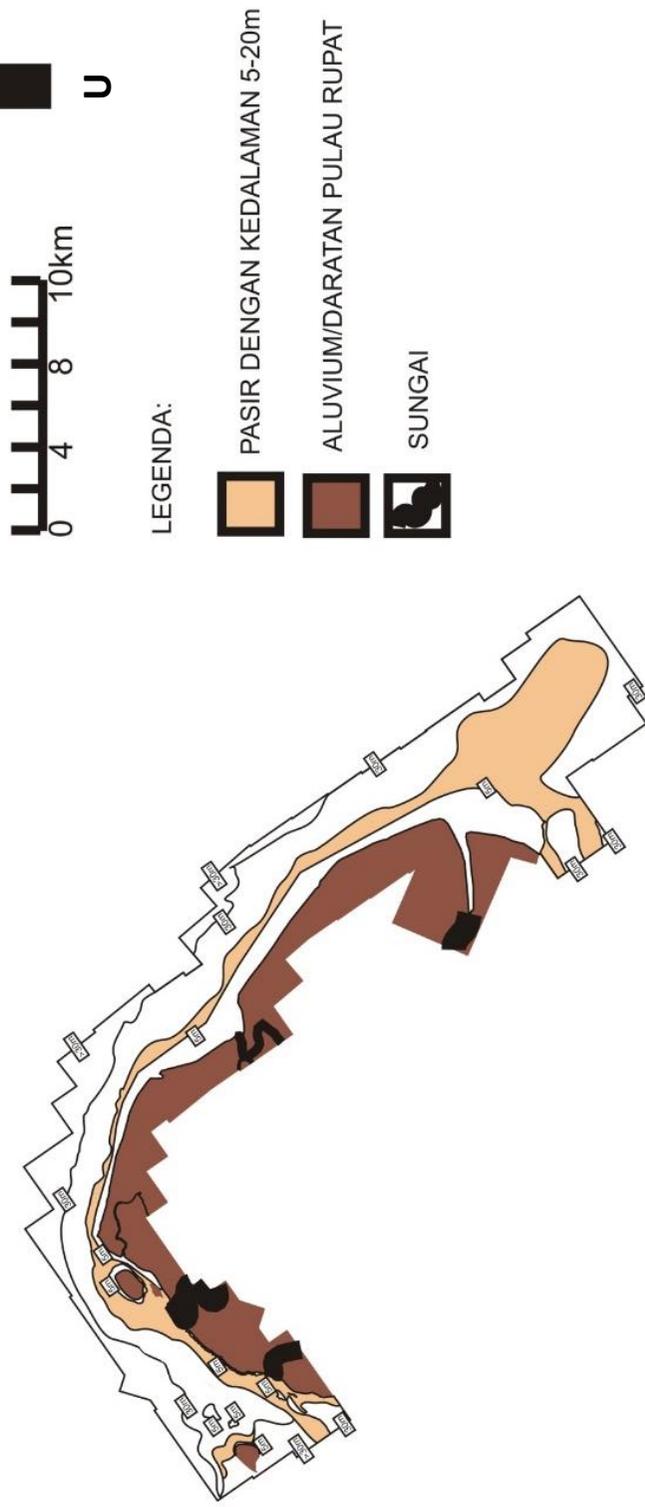
2. Pasir Mineral dengan Kedalaman 5 – 20 Meter

Setelah dilakukan observasi secara menyeluruh menggunakan teknik dan metode SIG dan citra satelit terhadap area pulau Rupa bagian utara, maka data SIG dan citra satelit selanjutnya dianalisis dan di proses untuk mengetahui sebaran pasir mineral yang terdapat di pulau Rupa bagian utara ini (Gambar 23).

Data citra satelit diproses dengan melakukan kombinasi observasi yang dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan untuk memastikan keberadaan pasir mineral tersebut. Observasi langsung di lapangan telah dilakukan di sepanjang perairan laut pulau Rupa bagian utara dengan menggunakan speed boat yang disewa. Pengamatan langsung di lapangan ini dilaksanakan bersama tim peneliti dari Fakultas Teknik Universitas Islam Riau bersama tim dari Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Riau dengan menggunakan 3 buah speed boat. Pengamatan lapangan secara langsung membuktikan keberadaan pasir mineral di perairan pulau Rupa bagian utara (Gambar 24).



Gambar 23. Peta Kontur Sebaran Pasir mineral dengan Kedalaman 5-20 meter di Pulau Rupat Bagian Utara.



Gambar 24. Peta Sebaran Pasir mineral dengan Kedalaman 5-20 Meter.

Selanjutnya data hasil pengamatan langsung di lapangan dikombinasikan dengan data SIG dan citra satelit untuk selanjutnya diproses sehingga bisa mendapatkan estimasi sebaran pasir mineral yang terdapat di perairan pulau Rupert bagian utara.

Dari data SIG dan citra satelit, dapat diperoleh dan di proses data-data tersebut menjadi data sebaran pasir mineral. Dengan pengamatan citra satelit ini, didapati daerah yang memiliki sebaran pasir mineral yang berada di atas permukaan dan dibawah permukaan laut, dari data ini selanjutnya dikelompokkan sebaran pasir mineral tersebut, dimana pengelompokan tersebut bisa diperoleh sebaran pasir mineral yang berada dibawah permukaan laut (5 meter) hingga pada kedalaman 20 meter sebagai golongan kedua dari sebaran pasir mineral yang terdapat di perairan laut pulau Rupert bagian utara.

Sebaran pasir mineral pada kedalaman 5-20 meter dari permukaan laut selanjutnya diestimasi persentasenya, dimana persentase untuk sebaran pasir mineral yang berada pada kedalaman 5-20 meter adalah 40%. Daerah ini memiliki persentase yang terbanyak.

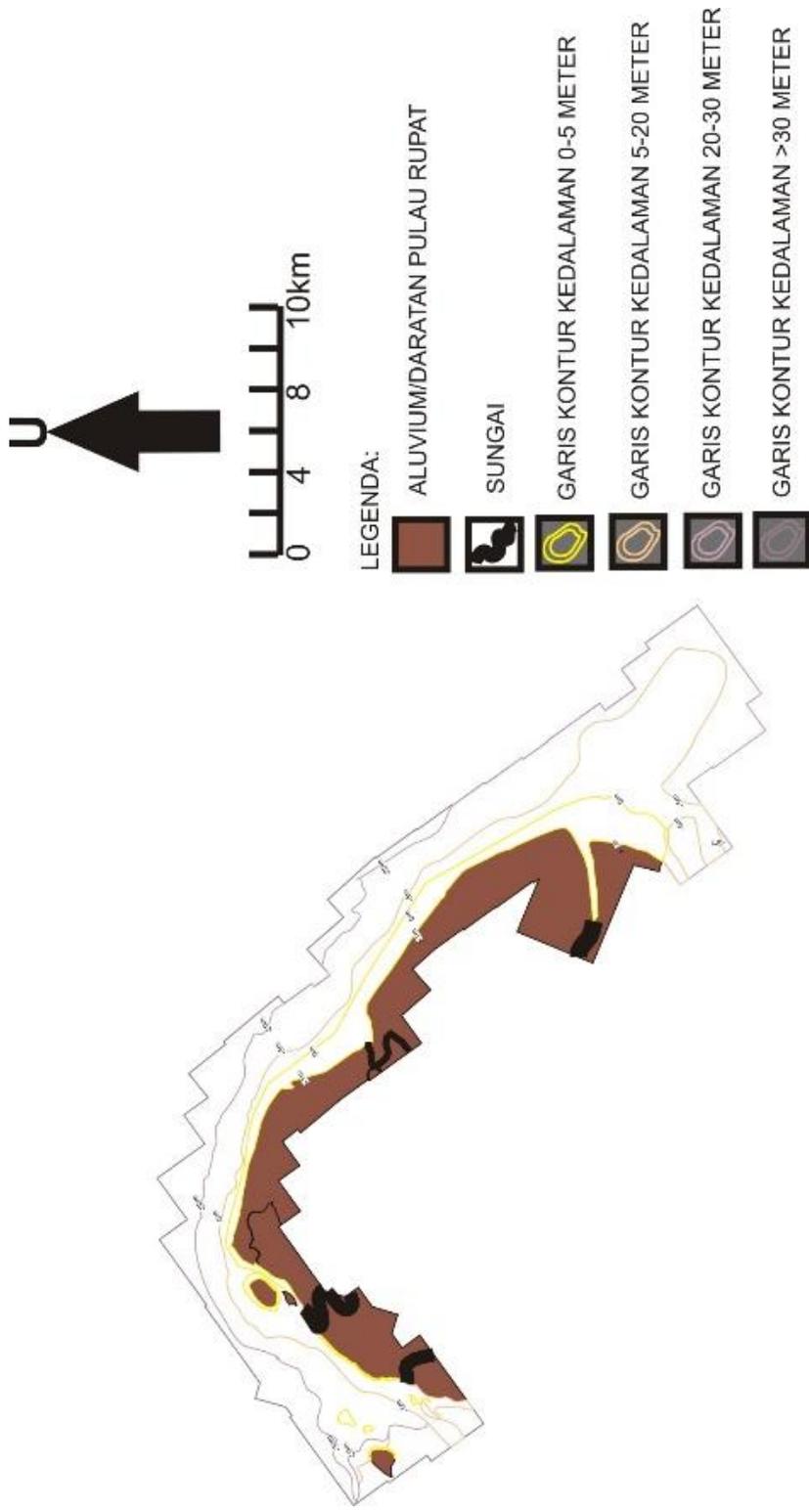
Selanjutnya proses data yang telah dilakukan, diaplikasikan untuk membuat peta kontur dan peta sebaran pasir mineral dengan kedalaman 5-20 meter di perairan laut pulau Rupert bagian utara seperti yang dapat dilihat pada gambar diatas.

3. Pasir Mineral dengan Kedalaman 20 - 30 Meter

Setelah dilakukan observasi secara menyeluruh menggunakan teknik dan metode SIG dan citra satelit terhadap area pulau Rupa bagian utara, maka data SIG dan citra satelit selanjutnya dianalisis dan di proses untuk mengetahui sebaran pasir mineral yang terdapat di pulau Rupa bagian utara ini (Gambar 25).

Data citra satelit diproses dengan melakukan kombinasi observasi yang dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan untuk memastikan keberadaan pasir mineral tersebut. Observasi langsung di lapangan telah dilakukan di sepanjang perairan laut pulau Rupa bagian utara dengan menggunakan speed boat yang disewa. Pengamatan langsung di lapangan ini dilaksanakan bersama tim peneliti dari Fakultas Teknik Universitas Islam Riau bersama tim dari Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Riau dengan menggunakan 3 buah speed boat. Pengamatan lapangan secara langsung membuktikan keberadaan pasir mineral di perairan pulau Rupa bagian utara.

Selanjutnya data hasil pengamatan langsung di lapangan dikombinasikan dengan data SIG dan citra satelit untuk selanjutnya diproses sehingga bisa mendapatkan estimasi sebaran pasir mineral yang terdapat di perairan pulau Rupa bagian utara (Gambar 26). Dari data SIG dan citra satelit, dapat diperoleh dan di proses data-data tersebut menjadi data sebaran pasir mineral.



Gambar 25. Peta Kontur Sebaran Pasir mineral dengan Kedalaman 20-30 meter di Pulau Rupa Bagian Utara.

Dengan pengamatan citra satelit ini, didapati daerah yang memiliki sebaran pasir mineral yang berada di atas permukaan dan dibawah permukaan laut, dari data ini selanjutnya dikelompokkan sebaran pasir mineral tersebut, dimana pengelompokan tersebut bisa diperoleh sebaran pasir mineral yang berada dibawah permukaan laut (20 meter) hingga pada kedalaman 30 meter sebagai golongan ketiga dari sebaran pasir mineral yang terdapat di perairan laut pulau Rupa bagian utara.

Sebaran pasir mineral pada kedalaman 20-30 meter dari permukaan laut selanjutnya diestimasi persentasenya, dimana persentase untuk sebaran pasir mineral yang berada pada kedalaman 20-30 meter adalah 30%. Daerah ini memiliki persentase terbanyak kedua. Selanjutnya proses data yang telah dilakukan, diaplikasikan untuk membuat peta kontur dan peta sebaran pasir mineral dengan kedalaman 20-30 meter di perairan laut pulau Rupa bagian utara seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut (Gambar 26).

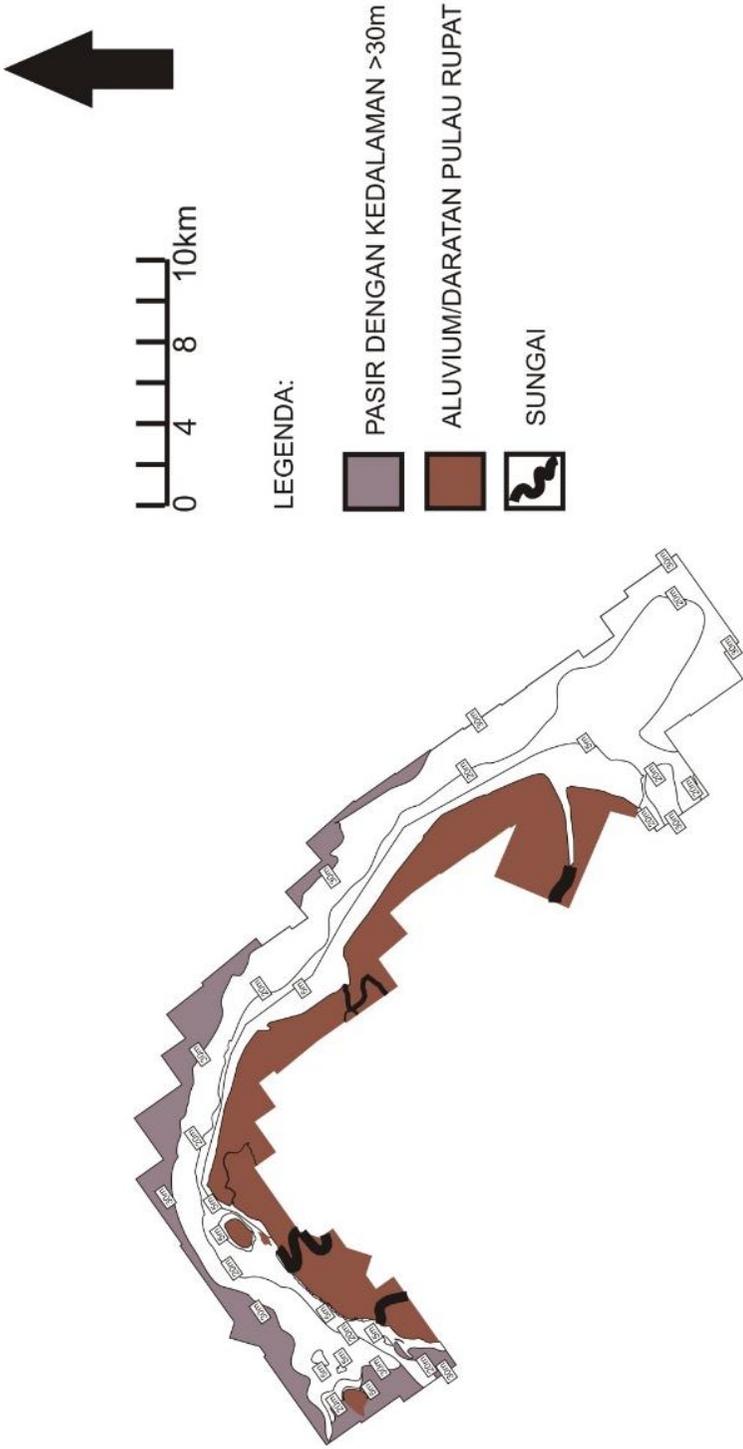
4. Pasir Mineral dengan Kedalaman >30 Meter

Setelah dilakukan observasi secara menyeluruh menggunakan teknik dan metode SIG dan citra satelit terhadap area pulau Rupa bagian utara, maka data SIG dan citra satelit selanjutnya dianalisis dan di proses untuk mengetahui sebaran pasir mineral yang terdapat di pulau Rupa bagian utara ini (Gambar 27).

Data citra satelit diproses dengan melakukan kombinasi observasi yang dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan untuk memastikan keberadaan pasir mineral tersebut (Gambar 28).



Gambar 27. Peta Kontur Sebaran Pasir mineral dengan Kedalaman > 30 meter di Pulau Rupat Bagian Utara.



Gambar 28. Peta Sebaran Pasir mineral dengan Kedalaman > 30 Meter.

Observasi langsung di lapangan telah dilakukan di sepanjang perairan laut pulau Rupa bagian utara dengan menggunakan speed boat yang disewa. Pengamatan langsung di lapangan ini dilaksanakan bersama tim peneliti dari Fakultas Teknik Universitas Islam Riau bersama tim dari Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Riau dengan menggunakan 3 buah speed boat.

Pengamatan lapangan secara langsung membuktikan keberadaan pasir mineral di perairan pulau Rupa bagian utara. Selanjutnya data hasil pengamatan langsung di lapangan dikombinasikan dengan data SIG dan citra satelit untuk selanjutnya diproses sehingga bisa mendapatkan estimasi sebaran pasir mineral yang terdapat di perairan pulau Rupa bagian utara.

Dari data SIG dan citra satelit, dapat diperoleh dan di proses data-data tersebut menjadi data sebaran pasir mineral. Dengan pengamatan citra satelit ini, didapati daerah yang memiliki sebaran pasir mineral yang berada di atas permukaan dan dibawah permukaan laut, dari data ini selanjutnya dikelompokkan sebaran pasir mineral tersebut, dimana pengelompokan tersebut bisa diperoleh sebaran pasir mineral yang berada dibawah permukaan laut pada kedalaman lebih dari 30 meter sebagai golongan keempat dari sebaran pasir silika yang terdapat di perairan laut pulau Rupa bagian utara.

Sebaran pasir mineral pada kedalaman >30 meter dari permukaan laut selanjutnya diestimasi persentasenya, dimana

persentase untuk sebaran pasir mineral yang berada pada kedalaman >30 meter adalah 15%.

Selanjutnya proses data yang telah dilakukan, diaplikasikan untuk membuat peta kontur dan peta sebaran pasir mineral dengan kedalaman >30 meter di perairan laut pulau Rupa bagian utara seperti yang terlihat pada gambar diatas.

Setelah pembagian zona dan kontur dari golongan pembagian area sebaran pasir mineral dibuat, akhirnya keseluruhan data digabungkan bersamaan untuk dibuat pola sebaran pasir mineral di kawasan observasi.

Dari penggabungan ini dapat dilihat sebaran pasir mineral yang terdapat di perairan laut pulau Rupa bagian utara. Kontur-kontur dari sebaran pasir mineral berdasarkan zona kedalaman juga digabungkan pada peta akhir sebaran pasir mineral di perairan laut pulau Rupa bagian utara dan diwarnai dengan warna yang berbeda untuk setiap sebaran pasir mineral berdasarkan zona kedalaman.

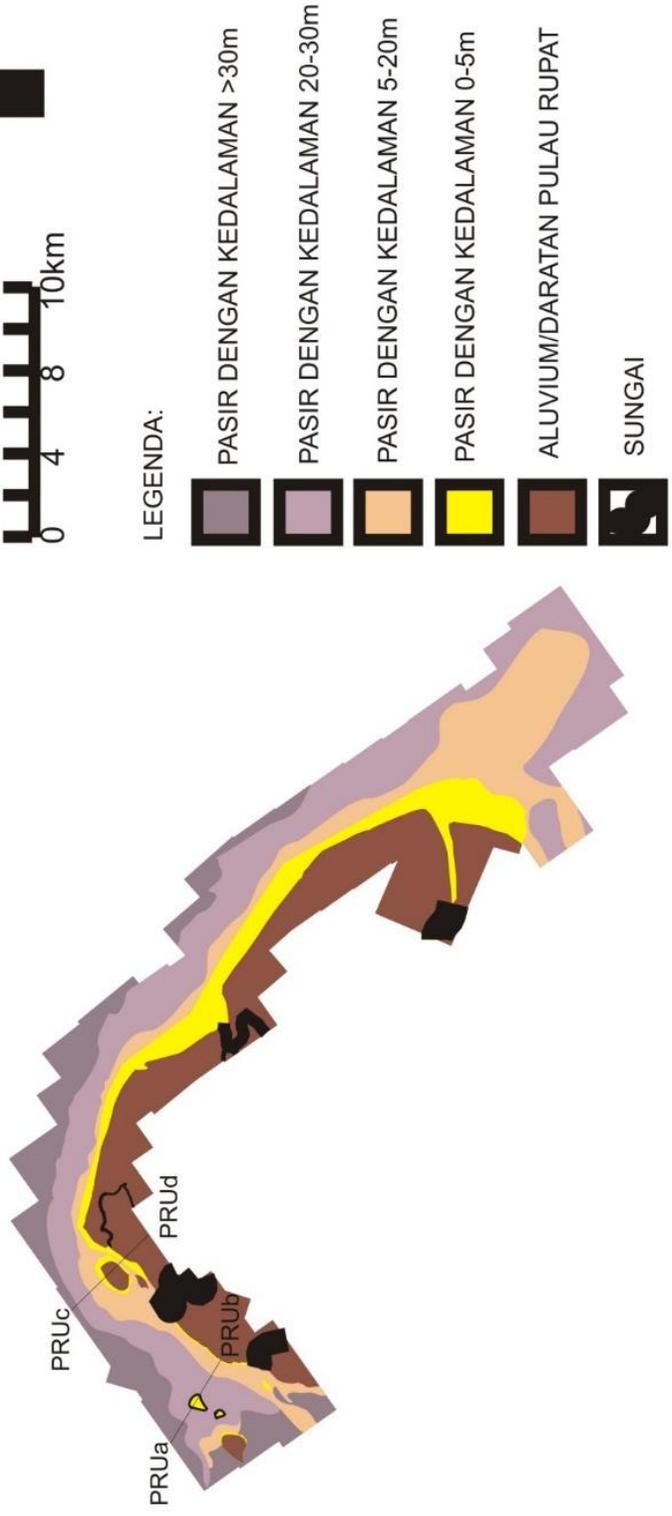
Peta sebaran pasir mineral di perairan laut pulau Rupa bagian utara juga dibuat berdasarkan persentase sebaran pasir mineral berdasarkan zona kedalaman (Gambar 28). Hal ini supaya memudahkan cakupan wilayah sebaran pasir mineral berdasarkan zona kedalaman dapat dilihat secara keseluruhan (Gambar 29).

Berdasarkan persentase sebaran pasir mineral di perairan laut pulau Rupa bagian utara juga dapat memberikan gambaran luas pasir mineral tersebut berdasarkan zona kedalamannya di wilayah observasi yang telah dilakukan (Gambar 30).

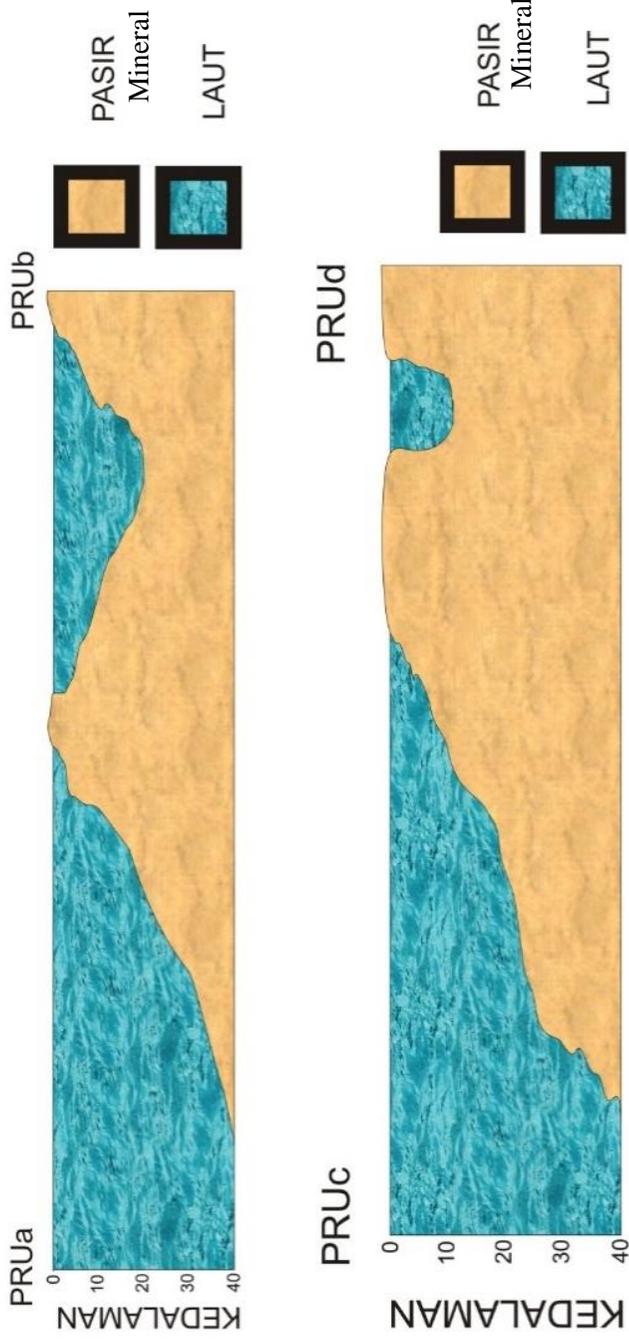
Dengan estimasi luas seluruh wilayah observasi adalah kurang lebih 300 km², maka dapat dihitung luas sebaran pasir mineral berdasarkan zona kedalaman seperti yang tertera pada tabel berikut (Tabel 5):

Tabel 5. Estimasi luas sebaran pasir mineral berdasarkan zona kedalaman.

Zona kedalaman (m)	Persentase (%)	Estimasi luas sebaran (km ²)
0-5	15	45
5-20	40	120
20-30	30	90
>30	15	45
Total	100	300



Gambar 29. Peta Sebaran Pasir Mineral di Pulau Rupa Bagian Utara dengan Penampang Profil Pasir Mineral di Dua Lokasi (PRUa - PRUb dan PRUc - PRUd).



Gambar 30. Model Penampang Melintang Sebaran Pasir mineral di Perairan Laut Pulau Rupa Bagian Utara (Atas: PRUa – PRUb, Bawah: PRUc – PRUd).

V

Penutup

Survei dan pemetaan terhadap potensi pasir mineral di perairan terutama lautan saat ini perlu dikembangkan guna menambah pengoptimalan potensi sumberdaya alam. Hal ini dikarenakan potensi pasir mineral yang ada di lautan memiliki kandungan yang bernilai ekonomi tinggi. Keberadaan pasir mineral di lautan bisa menambah potensi pendapatan negara. Banyak mineral-mineral bernilai ekonomi tinggi yang tersebar dan terkandung didalam pasir mineral yang ada di lautan. Misalnya kandungan mineral-mineral logam mulia hingga ke mineral jarang. Tentunya hal ini jika dimanfaatkan secara maksimal akan menambah keuntungan buat negara dan juga bisa terasa manfaatnya secara langsung buat masyarakat. Selain berpotensi sebagai kawasan yang bisa dilakukan untuk pertambangan, keberadaan pasir mineral laut juga bisa dikembangkan untuk kawasan pariwisata yang jika dikelola dengan baik pasti akan menjadi destinasi utama.

VI

Referensi

1. Kajian Keramik, PPTM, 1994
2. Hartono, J.M.V, Teori Pembakaran, Informasi Teknologi Keramik dan Gelas, Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Balai Besar Industri Keramik, Bandung, 1991.
3. Green, David & King, Stephen. (2003). Coastal and Marine Geo-Information Systems: Applying the Technology to the Environment. 10.1007/0-306-48002-6.
4. <https://www.okmap.org>
5. <http://www.symphonygeo.com>
6. <https://indogeologist.blogspot.com/>
7. <http://seismik-indonesia.blogspot.com/>
8. <https://www.dictio.id/>
9. Jens Lowag and Marcel Van Den Heuvel, "Advanced Sub-bottom Profiler Equipment for Soil Investigation Campaigns During Dredging Projects", *Port Technology International*, September 2002.
10. <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/marine/survey-techniques/sonar/shallow-water-sub-bottom-data>
11. https://pubs.usgs.gov/of/2010/1332/html/docs/figures/figure03-ship_diagram.html

12. Bullen, K. E. "Seismic ray theory." *Geophysical Journal International* 4, no. Supplement_1 (1961): 93-105.
13. Greaves, R. J., & Fulp, T. J. (1987). Three-dimensional seismic monitoring of an enhanced oil recovery process. *Geophysics*, 52(9), 1175-1187.
14. Robinson, E., & Treitel, S. (1980). Maximum entropy and the relationship of the partial autocorrelation to the reflection coefficients of a layered system. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 28(2), 224-235.
15. Kunzendorf, R. G. (1986). Hypnotic hallucinations as "unmonitored" images: An empirical study. *Imagination, Cognition and Personality*, 5(3), 255-270.
16. Robinson, E., & Treitel, S. (1980). Maximum entropy and the relationship of the partial autocorrelation to the reflection coefficients of a layered system. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 28(2), 224-235.
17. Seibold, E., & Berger, W. H. (1993). Resources from the Ocean Floor. In *The Sea Floor* (pp. 277-302). Springer, Berlin, Heidelberg.
18. Hutabarat, S., & Evans, S. M. (1985). *Pengantar oseanografi*. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
19. Kausarian, H., Sri Sumantyo, J. T., Kuze, H., Aminuddin, J., & Waqar, M. M. (2017). Analysis of polarimetric decomposition, backscattering coefficient, and sample properties for identification and layer thickness estimation of silica sand distribution using L-band synthetic aperture radar. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 43(2), 95-108.

20. Kausarian, H., Sri Sumantyo, J. T., Kuze, H., Karya, D., & Panggabean, G. F. (2016). Silica Sand Identification using ALOS PALSAR Full Polarimetry on The Northern Coastline of Rupert Island, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 6(5), 568-573.
21. Kausarian, H., Choanji, T., Karya, D., Kadir, E. A., & Suryadi, A. (2018). Geological Mapping of Silica Sand Distribution on the Muda Island and Ketam Island, Estuary of Kampar River, Indonesia. In *Proceedings of the Second International Conference on the Future of ASEAN (ICoFA) 2017–Volume 2* (pp. 973-982). Springer, Singapore.
22. Kausarian, H. (2017). Geological Mapping and Full Polarimetric SAR Analysis of Silica Sand Distribution on the Northern Coastline of Rupert Island, Indonesia. Doctoral Thesis, Chiba University.
23. World Geodetic Standard 1984
24. Tutorial Surfer, 2002