



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PEMODELAN STRUKTUR SESAR NAIK
PADA PRISMA AKRESI NANKAI, JEPANG
DENGAN MENGGUNAKAN ANALOG SANDBOX**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

**AL FAUZI HANIFUDIN
21100113140096**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI**

**SEMARANG
JUNI 2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

NAMA : Al Fauzi Hanifudin
NIM : 21100113140096
Departemen : Teknik Geologi
Judul Skripsi : Pemodelan Struktur Sesar Naik pada Prisma Akresi
Nankai, Jepang dengan Menggunakan Analog Sandbox

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing I : Fahrudin, S.T., M.T
NIP. 198301222006041002

Pembimbing II : Ahmad Syauqi Hidayatillah, S.T., MT
NIK. 199011180115081081

Penguji I : Ir. Wahyu Krisna Hidajat, MT.
NIP. 195909091987031001

Penguji II : Rinal Khaidar Ali, ST., M.Eng
NIP. 198505042018031001

Semarang, 7 Juni 2018

Ketua Departemen Teknik Geologi,



Najib, S.T., M.Eng., Ph.D

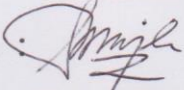
NIP. 19771020 200501 1 001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : AL FAUZI HANIFUDIN

NIM : 21100113140096

Tanda Tangan 

Tanggal : 7 Juni 2018

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Al Fauzi Hanifudin
NIM : 21100113140096
Departemen : Teknik Geologi
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir / Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti** Noneksekutif (*None-exclusive Royalty Free Right*) Atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pemodelan Struktur Sesar Naik pada Prisma Akresi Nankai, Jepang dengan Menggunakan Analog Sandbox

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada tanggal : 7 Juni 2018

Yang menyatakan



Al Fauzi Hanifudin
21100113140096

KATA PENGANTAR

Palung Nankai termasuk dalam zona subduksi Jepang yang masih aktif, dimana memiliki struktur geologi yang sangat beragam. Salah satu jenis struktur tersebut berupa sesar naik. Sesar naik dengan sistem imbrikasi termasuk salah satu bentukan struktur geologi yang masih terus berkembang seiring dengan penunjaman subduksi. Selain itu kondisi morfologi juga menjadi suatu roman muka bumi yang khas pada daerah tersebut. Oleh karena itu, studi mengenai perkembangan struktur dan morfologi tersebut dapat menambah referensi dalam pemodelan morfologi dan interpretasi kondisi bawah permukaan.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pemodelan analog *sandbox* dengan sistem konvergen. Pemodelan ini dianalogikan sebagai model alam dengan pengaturan alat dan material percobaan yang disesuaikan dengan kondisi alam. Hasil dari pemodelan dilakukan analisis morfologi dan kondisi bawah permukaan pada setiap pemendekan. Diharapkan dengan adanya studi ini dapat memberikan wawasan baru akan pemodelan dan perkembangan struktur bawah permukaan pada zona subduksi.

Semarang, 7 Juni 2018

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Lembar ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya ini didedikasikan kepada orang-orang terkasih yang selalu membantu dan mendukung dalam penyusunan Tugas Akhir di Departemen Teknik Geologi Universitas Diponegoro. Ucapan terima kasih ditujukan kepada :

1. Allah SWT. Atas hikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua Penulis, Abi Puji Basuki dan Umi Sujilah serta keluarga besar yang telah memberikan doa dan motivasi yang luar biasa.
3. Bapak Fahrudin, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I atas kesabaran, petunjuk dan bimbingannya selama proses penyusunan tugas akhir ini dari awal hingga akhir.
4. Bapak Ahmad Syauqi Hidayatillah, ST., MT. selaku dosen pembimbing II untuk arahan, kesabaran dan bimbingannya selama proses penyusunan tugas akhir ini dari awal hingga akhir.
5. Bapak Yoga Aribowo, ST.,MT selaku dosen wali yang telah memberi bimbingan, arahan, semangat dan motivasi selama masa kuliah saya.
6. Bapak Najib, S.T., M.Eng., Ph.D, Bapak Tri Winarno, ST, M.Eng dan Seluruh Dosen serta petugas kampus Teknik Geologi yang senantiasa membimbing saya dalam segala masalah dan keluhan di perkuliahan.
7. Muhammad Jabaris Maulana, Muhammad Mursalin, dan teman-teman dasmod, untuk bantuan dan kerjasamanya dalam preparasi serta pengerjaan model *sandbox*.
8. Kepada seluruh teman-teman angkatan 2013 dan teman-teman kosan Laras Vegas yang selalu memberi motivasi dan dukungannya hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Semarang, 7 Juni 2018

Penulis

SARI

Pemodelan analog *sandbox* yang dibuat dengan sistem tektonik konvergen dapat digunakan untuk memodelkan struktur pada zona subduksi, salah satunya memodelkan struktur prisma akresi Nankai, Jepang. Struktur geologi pada prisma akresi Nankai, Jepang sangat beragam, diantaranya berupa sesar naik dan lipatan. Struktur geologi tersebut sampai sekarang masih ada yang berkembang karena pengaruh subduksi yang masih aktif sampai saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan perkembangan morfologi dan struktur sesar naik pada prisma akresi Nankai, Jepang secara umum. Metode yang digunakan berupa pemodelan analog *sandbox* kompresi dengan material yang disesuaikan dengan kondisi alam. Material yang digunakan berupa pasir, lempung, gipsum, dan plastisin yang disesuaikan geometri dan komposisinya berdasarkan referensi data seismik dan pengeboran. Berdasarkan hasil pemodelan *sandbox*, perkembangan morfologi pada model yaitu semakin bertambah pemendekan akan semakin bertambah bentuk kelurusan punggungan-punggungan sabuk sesar, serta akan semakin kecil perubahan sudut *slope* dan *wedge*. Sedangkan perkembangan struktur geologi yaitu semakin bertambah pemendekan akan semakin bertambah jumlah sesar yang terbentuk, khususnya *forethrust fault* (Ft), dan akan semakin curam dip sesar, kecuali *backthrust fault* (Bt) yang relatif stabil. Jenis struktur yang terbentuk pada model yaitu *forethrust fault* (Ft), *backthrust fault* (Bt), *normal fault* (Nf), sesar mendatar, dan lipatan jenis *inclined fold*. *Thrust fault* memiliki pola sistem *leading imbricate*, *out-of-sequence thrust fault*, dan *triangle zone*. Pola kelurusan sesar naik, sesar normal dan lipatan berarah NE-SW, sedangkan pola kelurusan sesar mendatar berarah NW-SE. Perbandingan model dengan alam yaitu pada subduksi miosen 13-6 juta tahun yang lalu sama dengan model pemendekan 5%, koalisi yang menghasilkan sistem Zenisu 2 juta tahun yang lalu sama dengan model pemendekan 25%, dan subduksi sekarang sama dengan model pemendekan 40%.

Kata Kunci: *Sandbox*, prisma akresi Nankai Jepang, *thrust fault*

ABSTRACT

Analogue sandbox modeling which created with convergent tectonic system could represent a subduction zone, one of them is Nankai Accretion Prism model in Japan. Structural features in Nankai Accretion Prism is dominated with thrust faults and folds. Most of them are still active due to Nankai's subduction activity. This study is focus on how morphology dan structure develop generally around the Nankai Accretion Prism. Using an analog compression sandbox method, this study simulated how the morphology and structure generated and how it will be developed. The setting mimics its nature material like sand, gypsum, clay and plastisin and built geometrically resemble the nature based on seismic and drilling data references. The sandbox modelling show that more thrust belt alignments generated as the sandbox shortened. The shorter the sandbox, the value of slopes and wedges decreasing slower, even produce a stabilized structure (steady state) in the near end of the simulation. The shorter the sandbox affects structure features too, it will produce more faults such forethrust fault (Ft) which it dip get steeper as the sandbox goes. But for the backthrust fault (Bt) the shortening of sandbox doesn't affect its dip value (relatively stable). Other structures that generated from the simulations are forethrust fault (Ft), backthrust fault (Bt), normal fault (Nf), strike slip fault and inclined fold. The thrust fault has leading imbricate, out-of-sequence thrust fault, dan triangle zone pattern system. The pattern of thrust faults, normal faults and folds are generally directed to NE-SW direction thus the strike slip faults has a NW-SE direction pattern. Shortened sandbox of 5% represent miosen subduction 13-6 million years ago, 25% represent Zenisu system 2 million years ago, and 40% represent the recent subduction system in the nature.

Keyword: *Sandbox, Nankai accretion prism, thrust faults*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG	
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
SARI.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4.1 Ruang Lingkup Daerah Penelitian.....	2
1.4.2 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Penelitian Terdahulu.....	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Geologi Prisma Akresi Nankai, Jepang.....	6
2.2 Penjelasan Struktur Geologi	12
2.2.1 Lipatan	12
2.2.2 Sesar	13
2.2.3 Sesar Naik.....	14
2.2.4 Istilah Sesar Naik.....	14
2.2.5 Sistem Sesar Naik.....	17
2.3 Pemodelan <i>sandbox</i>	24
2.3.1 Penskalaan	25
2.3.2 Material Pemodelan.....	28
2.3.3 Kondisi batas	29
2.3.4 Efek tepi.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 Metodologi Penelitian	33
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	34
3.3 Tahapan Penelitian	34
3.4 Hipotesis Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Deskripsi Hasil Deformasi	43
4.1.1 Perkembangan Morfologi	43

4.1.2 Perkembangan Struktur Bawah Permukaan	51
4.2 Analisis Struktur pada Model	71
4.3 Perbandingan Model dengan Alam	76
4.3.1 Perbandingan Morfologi.....	76
4.3.2 Perbandingan Struktur	79
4.3.3 Perbandingan Waktu.....	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi penelitian Palung Nankai Jepang	3
Gambar 2.1 (a) batimetri pada Palung Nankai (b) lokasi pengambilan data seismik dan pengeboran (c) penampang bawah permukaan berdasarkan data seismik refleksi (Tsuji T. dkk, 2014).....	7
Gambar 2.2 Rangkuman stratigrafi pada sumur C0001 (Ashi dkk, 2009).....	8
Gambar 2.3 Rangkuman stratigrafi pada sumur C0002 (Ashi dkk, 2009).....	9
Gambar 2.4 Topografi dan batimetri serta lokasi seismik refleksi (Mozzotti dkk, 2002)	10
Gambar 2.5 Seismik refleksi dan struktur pada Nankai dan Zenisu (Mozzotti, 2002)	11
Gambar 2.6 Proses pelipatan <i>bending</i> dan <i>buckling</i> (Burg, 2017).....	12
Gambar 2.7 Klasifikasi Sesar Berdasarkan Kedudukan Arah Tegangan Utama (Anderson, 1951)	13
Gambar 2.8 Jenis sesar naik	14
Gambar 2.9 Geometri dari sesar naik (<i>Thrust Fault</i>) yang menunjukkan sebuah perulangan dari landai ke curam dan kembali ke landai lagi pada permukaan bidang sesar (Burg, 2017).....	15
Gambar 2.10 <i>Subsidiary thrusts</i> (Burg, 2017).....	15
Gambar 2.11 <i>Normal sequence</i> dalam propagasi sesar naik (Burg, 2017).....	16
Gambar 2.12 Perkembangan sesar naik <i>out-of-sequence</i> (Burg, 2017)	17
Gambar 2.13 Klasifikasi Sistem Sesar Naik (Dahlstrom 1970, modifikasi Elliot dan Boyer, 1982)	18
Gambar 2.14 Pembagian Sistem Imbrikasi dalam Sistem Sesar Naik (Dahlstrom, 1970). <i>Leading Imbricate Fan</i> (a) dan <i>Trailing Imbricate Fan</i> (b) (Dahlstrom, 1970 modifikasi Elliot dan Boyer, 1982)	19
Gambar 2.15 Pembagian sistem dupleks (Dahlstrom 1970, modifikasi Burg, 2017).....	20
Gambar 2.16 <i>Triangle zone</i> (McClay, 1992).....	21
Gambar 2.17 Hubungan sesar dan lipatan secara umum pada <i>passive folding</i> (Burg, 2017)	21
Gambar 2.18 Gambaran umum <i>detachment fold</i> (Burg, 2017)	22
Gambar 2.19 Gambaran umum proses <i>fault-propagation (tip-line) folds</i> (Burg, 2017)	23
Gambar 2.20 Gambaran umum <i>fault-ramp (-bend) folds</i> (Burg, 2017)	24
Gambar 2.21 Gambar yang mengilustrasikan kondisi dalam A. Kesamaan geometri, B. Kesamaan dinamik, dan C. Kesamaan kinematika antara keadaan sebenarnya di alam dengan hasil pemodelan analog (Modifikasi dari Eisenstadt, dkk., 1997 dalam Meli, 2014).....	26
Gambar 2.22 Grafik shear stress terhadap kedalaman antara model dengan kerak bumi bagian atas. Grafik tersebut memperlihatkan kesamaan secara reologi pada batuan yang	

	bersifat getas dengan adanya kesamaan koefisien gesek dalam (McClay, 1996).....	27
Gambar 2.23	Gambar yang memperlihatkan perbedaan kondisi batas, dalam hal ini geometri dari <i>footwall</i> , yang mengakibatkan hasil percobaan yang berbeda. (Meli, 2014)	30
Gambar 2.24	Gambar hasil percobaan yang memperlihatkan adanya kondisi tepi (dilingkari garis hitam putus-putus) pada percobaan ekstensional (atas) dan kontraksional (bawah). (Meli, 2014).....	31
Gambar 2.25	Tampak atas hasil percobaan kontraksional yang memperlihatkan gesekan pada dinding sisi kaca yang mengakibatkan bidang sesar mempunyai geometri lengkungan (<i>arcuate</i>). (Meli, 2014)	32
Gambar 3.1	Konfigurasi 1	38
Gambar 3.2	Konfigurasi 2	39
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian.....	42
Gambar 4.1	Morfologi percobaan 3 menunjukkan punggungan dan rendahan atau cekungan	44
Gambar 4.2	Sudut <i>slope</i> (sudut warna merah) dan <i>wedge</i> (sudut warna kuning)	44
Gambar 4.3	Grafik perkembangan <i>wedge</i> terhadap pemendekan percobaan 1	46
Gambar 4.4	Grafik Perkembangan <i>wedge</i> terhadap pemendekan percobaan 2	47
Gambar 4.5	Grafik Perkembangan <i>wedge</i> terhadap pemendekan percobaan 3	49
Gambar 4.6	Grafik Perkembangan <i>wedge</i> terhadap pemendekan percobaan 4	50
Gambar 4.7	Perkembangan <i>forethrust fault</i> (Ft) dan <i>backthrust fault</i> (Bt) pemendekan 32% percobaan 1 dinding SW	52
Gambar 4.8	Perkembangan <i>forethrust fault</i> (Ft) dan <i>backthrust fault</i> (Bt) pemendekan 32% percobaan 1 dinding NE.....	52
Gambar 4.9	Grafik Perkembangan <i>dip forethrust</i> terhadap pemendekan dinding SW percobaan 1	54
Gambar 4.10	Grafik Perkembangan <i>dip backthrust</i> terhadap pemendekan dinding SW percobaan 1	54
Gambar 4.11	Grafik Perkembangan <i>dip forethrust</i> terhadap pemendekan dinding NE percobaan 1	55
Gambar 4.12	Grafik Perkembangan <i>dip backthrust</i> terhadap pemendekan dinding NE percobaan 1	55
Gambar 4.13	Perkembangan <i>forethrust fault</i> (Ft), <i>backthrust fault</i> (Bt), dan <i>normal fault</i> (Nf) pada pemendekan 55% percobaan 2 dinding SW	57
Gambar 4.14	Perkembangan <i>forethrust fault</i> (Ft), <i>backthrust fault</i> (Bt), dan <i>normal fault</i> (Nf) pada pemendekan 55% percobaan 2 dinding NE	57

Gambar 4.15	Grafik Perkembangan <i>dip forethrust</i> terhadap pemendekan dinding SW percobaan 2	59
Gambar 4.16	Grafik Perkembangan <i>dip backthrust</i> terhadap pemendekan dinding SW percobaan 2	59
Gambar 4.17	Grafik Perkembangan <i>dip forethrust</i> terhadap pemendekan dinding NE percobaan 2	60
Gambar 4.18	Grafik Perkembangan <i>dip backthrust</i> terhadap pemendekan dinding NE percobaan 2	60
Gambar 4.19	Perkembangan <i>forethrust fault</i> (Ft), <i>backthrust fault</i> (Bt), dan <i>normal fault</i> (Nf) pada pemendekan 55% percobaan 3 dinding SW	62
Gambar 4.20	Perkembangan <i>forethrust fault</i> (Ft), <i>backthrust fault</i> (Bt), dan <i>normal fault</i> (Nf) pada pemendekan 55% percobaan 3 dinding NE.....	62
Gambar 4.21	Grafik Perkembangan <i>dip forethrust</i> terhadap pemendekan dinding SW percobaan 3	64
Gambar 4.22	Grafik Perkembangan <i>dip backthrust</i> terhadap pemendekan dinding SW percobaan 3	64
Gambar 4.23	Grafik Perkembangan <i>dip forethrust</i> terhadap pemendekan dinding NE percobaan 3	65
Gambar 4.24	Grafik Perkembangan <i>dip backthrust</i> terhadap pemendekan dinding NE percobaan 3	65
Gambar 4.25	Perkembangan <i>forethrust fault</i> (Ft), <i>backthrust fault</i> (Bt), dan <i>normal fault</i> (Nf) pada pemendekan 55% percobaan 4 dinding SW	67
Gambar 4.26	Perkembangan <i>forethrust fault</i> (Ft), <i>backthrust fault</i> (Bt), dan <i>normal fault</i> (Nf) pada pemendekan 55% percobaan 4 dinding NE.....	67
Gambar 4.27	Grafik Perkembangan <i>dip forethrust</i> terhadap pemendekan dinding SW percobaan 4	69
Gambar 4.28	Grafik Perkembangan <i>dip backthrust</i> terhadap pemendekan dinding SW percobaan 4	69
Gambar 4.29	Grafik Perkembangan <i>dip forethrust</i> terhadap pemendekan dinding NE percobaan 4	70
Gambar 4.30	Grafik Perkembangan <i>dip backthrust</i> terhadap pemendekan dinding NE percobaan 4	70
Gambar 4.31	Kelurusan morfologi pada model	71
Gambar 4.32	<i>Out-of-sequence thrust fault</i> dan sistem imbrikasi terpengaruh <i>backthrust fault</i> pada percobaan 2 dinding SW pemendekan 40%	73
Gambar 4.33	<i>Triangle zone</i> (lingkaran merah) pada percobaan 2 dinding SW pemendekan 40%	73
Gambar 4.34	<i>Normal fault</i> (Nf) pada percobaan 2 dinding SW pemendekan 30%	74

Gambar 4.35 Contoh sesar pada gipsum (lingkaran merah) dan lipatan pada lempung dan pasir (lingkaran hitam) pada percobaan 1 dinding NE pemendekan 25%	75
Gambar 4.36 Perbandingan morfologi model dengan kondisi alam	77
Gambar 4.37 Penggambaran morfologi hasil pemodelan <i>sandbox</i> pemendekan 40%	78
Gambar 4.38 Perbandingan struktur bawah permukaan model <i>sandbox</i> dinding SW dengan kondisi alam.....	80
Gambar 4.39 Perbandingan struktur model alam (Mazzotti, 2002 dengan modifikasi) dengan model <i>sandbox</i> NE pemendekan 40%	81
Gambar 4.40 Grafik antara waktu model percobaan dengan waktu model Hubbert	84
Gambar 4.41 Perbandingan waktu model dinding SW terhadap waktu alam ...	85
Gambar 4.42 Perbandingan waktu model dinding NE terhadap waktu alam....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penamaan untuk kedudukan lipatan (Fleuty, 1964)	13
Tabel 2.2 Sifat-sifat dari material yang umum digunakan pada pemodelan.	28
Tabel 3.1 Konfigurasi 1	36
Tabel 3.2 Konfigurasi 2	37
Tabel 4.1 Data <i>slope</i> percobaan 1	45
Tabel 4.2 Data <i>slope</i> percobaan 2	47
Tabel 4.3 Data <i>slope</i> percobaan 3	48
Tabel 4.4 Data <i>slope</i> percobaan 4	50
Tabel 4.5 Data <i>dip</i> sesar percobaan 1	53
Tabel 4.6 Data <i>dip</i> sesar percobaan 2	58
Tabel 4.7 Data <i>dip</i> sesar percobaan 3	63
Tabel 4.8 Data <i>dip</i> sesar percobaan 4	68
Tabel 4.9 Data waktu setiap pemendekan	82
Tabel 4.10 Hasil perhitungan waktu berdasarkan rumus Hubbert	83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Foto-Foto <i>Sandbox</i>	92
Lampiran 2 Lembar Konsultasi.....	124