

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN.....	iii
IJIN PENGGUNAAN DATA.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xvi
SARI	xvii
ABSTRACT	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian.....	3
I.4. Lokasi Penelitian	3
I.5. Batasan Masalah.....	4
I.6. Penelitian Terdahulu dan Keaslian Penelitian.....	5
I.7. Manfaat Penelitian.....	12
BAB II TINJAUAN GEOLOGI REGIONAL.....	14
II.1. Tinjauan Geologi Regional dan Tektonik Jawa Timur	14
II.2. Stratigrafi Regional	17
II.3. Petroleum System.....	22
BAB III DASAR TEORI	25
III.1. Reservoir Karbonat.....	25
III.2. Fasies Batuan Karbonat dan Lingkungan Pengendapannya	27
III.3. Properti Batuan Reservoir Karbonat.....	31
III.3.1. Porositas	31
III.3.2. Permeabilitas	35

III.4. Diagenesis Batuan Karbonat	39
III.5. Elektrofasis	45
III.6. <i>Rock Type</i>	46
III.5.1. Konsep <i>Rock Type</i> dengan Metode FZI (<i>Flow Zone Indicator</i>)	47
III.5.2. Konsep <i>Rock Type</i> dengan Metode <i>r₃₅-Winland</i>	49
III.7. Pemodelan Reservoir	54
BAB IV HIPOTESIS DAN METODE PENELITIAN	57
IV.1. Hipotesis.....	57
IV.2. Data Penelitian	57
IV.3. Tahapan Kegiatan Penelitian.....	59
IV.4. Diagram Alir Penelitian	62
IV.5. Waktu Penelitian	63
BAB V PENGOLAHAN DATA.....	64
V.1. Ketersediaan Data	64
V.1.1. Data Seismik.....	64
V.1.2. Data Batuan Inti.....	65
V.1.3. Data <i>Well Log</i>	66
V.2. Analisis Data Batuan Inti	66
V.2.1. Analisis Batuan Inti Pada Sumur IK2	66
V.2.2. Tinjauan Analisis Data Batuan inti pada sumur IK15.....	74
BAB VI ROCK TYPING DAN PENYEBARAN RESERVOAR.....	83
VI.1. Penentuan <i>Rock Type</i> Menggunakan metode <i>Flow Zone Indicator</i> (<i>FZI</i>)	83
VI.2. Penentuan <i>Rock Type</i> Menggunakan Metode <i>r₃₅ Winland</i>	88
VI.3. Penyebaran <i>Rock Type</i> pada Zona <i>Uncored Interval</i> dan <i>Uncored</i> <i>Well</i>	93
VI.4. Validasi Pembagian <i>Rock Type</i> dengan Tekanan Kapiler.....	95
VI.5. Perbandingan Metode FZI dan <i>r₃₅ Winland</i> untuk Penentuan kualitas Properti Reservoir	96
VI.6. Penyebaran Reservoir	96
VI.7. Karakteristik <i>Rock Type</i> pada Daerah Penelitian	101



BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	106
VII.1. Kesimpulan	106
VII.2. Saran	106
DAFTAR PUSTAKA	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Lokasi penelitian secara administratif termasuk wilayah Kabupaten Bojonegoro (<i>Well Completion Report</i> , Devon Energy Java LTD)...4
Gambar 2.1.	Peta Geologi Cekungan Jawa Timur Utara (Duyfjes dkk., 1938, dalam Sukowati GnG progress report, 2009).....14
Gambar 2.2.	Pembagian cekungan Jawa Timur Utara menjadi empat area (<i>Northern Platform, Central High, Southern Uplift</i>) modifikasi dari Satyana dkk., (2003).....16
Gambar 2.3.	Fisiografi Cekungan Jawa Timur yang merupakan terusan dari jalur antiklorium Rembang-Madura, dimana cekungan utara Lombok termasuk di dalamnya (FIKTM-ITB., 2005, dalam Widyantoro., 2009).....17
Gambar 2.4.	Stratigrafi regional cekungan Jawa Timur Utara, Formasi Tuban berumur Miosen Tengah (<i>Sukowati GnG Progress Report.</i> ,).....18
Gambar 2.5.	Sistem <i>horst-graben</i> di Cekungan Jawa Timur (FIKTM-ITB, 2005, dalam Widyantoro 2009.).....22
Gambar 2.6.	<i>Petroleum System Chart</i> Cekungan Jawa Timur (dalam Widyantoro., 2009).....23
Gambar 3.1.	Sketsa Lingkungan Tempat Pembentukan Batuan Karbonat (James and Bourque., 1992)25
Gambar 3.2.	Klasifikasi Batuan Karbonat Menurut Dunham (Dunham., 1962 dalam Ahr., 2008).....26
Gambar 3.3.	Klasifikasi <i>Skeletal Reef</i> oleh Embry dan Klovan., 1971 (dalam Ahr., 2008). Embry dan Klovan membagi lagi <i>Autochthonous Limestone</i> menjadi <i>rudstone, bufflestone, bindstone</i> dan <i>framestone</i>27
Gambar 3.4.	Ilustrasi hubungan <i>reef</i> dan <i>mound</i> secara stratigrafi, <i>reef</i> dan <i>mound</i> bisa terpisah secara struktur atau <i>mound</i> tumbuh ke atas bergradasi di dalam <i>reef</i> (James and Bourque., 1992).....29
Gambar 3.5.	Pembagian zona pada fasies <i>reef</i> (James and Bourque., 1992).....31

Gambar 3.6. Klasifikasi ruang pori interpartikel batuan karbonat berdasarkan ukuran serta sortasi butiran dan kristal (Lucia., 1995 dalam Lucia dkk., 2001).....	33
Gambar 3.7. Klasifikasi Porositas (Selley., 1998)	34
Gambar 3.8. Klasifikasi Lucia (1995). Porositas interpartikel (bagian atas) terdiri dari tiga sub-kelas pori utama berdasarkan ukuran dan sortasi butir. Porositas <i>vuggy</i> (bagian bawah) terbagi menjadi <i>vug</i> yang terpisah (<i>separate pore vugs</i>) dan pori yang terhubung (<i>touching pore vugs</i>)	38
Gambar 3.9. Plot silang porositas interpartikel dengan permeabilitas batuan karbonat <i>nonvuggy</i> dengan ukuran butir yang bervariasi (Lucia., 1995).....	38
Gambar 3.10. Pola Log <i>Gamma Ray</i> yang menggambarkan fasies tertentu (Kendall., 2003).....	45
Gambar 3.11. Permeabilitas vs porositas untuk beberapa tipe batuan (RT) yang berbeda (Silva dkk., 2002).....	47
Gambar 3.12. Contoh plot permeabilitas vs porositas berdasarkan tipe batuan dengan metode FZI (Guo dkk., 2005)	49
Gambar 3.13. Kurva tekanan kapiler ideal (diadaptasi dari ilustrasi yang tidak dipublikasikan, dalam Ahr., 2008)	50
Gambar 3.14. Hubungan antara tekanan kapiler, saturasi air, dan karakter reservoir. Pada saat tekanan bernilai nol, kolom air berada diatas <i>Free Water Level</i> (FWL), saturasi air bervariasi terhadap kapilaritas yang dipengaruhi oleh properti fluida, ukuran <i>pore throat</i> dan sortasi. Contoh yang ideal pada <i>rock type</i> A-E, pada <i>Sw</i> mempunyai nilai 18% untuk <i>rock type</i> A dan 95% untuk <i>rock type</i> E pada ketinggian 50 <i>feet</i> di atas FWL. Sortasi yang buruk pada <i>pore throat</i> terlihat pada <i>rock type</i> B yang digambarkan dengan kurva yang melengkung. (adaptasi dari ilustrasi dalam Vavra dkk., 1992, dalam Ahr., 2008).....	52

Gambar 3.15. Model variogram sebagai hubungan antara variasi data terhadap jarak beserta parameter geostatistik (<i>sill, nugget, range, azimuth</i>) penyusunnya (Deutsch., 2002)	56
Gambar 4.1. Diagram Alir Penelitian.....	62
Gambar 5.1. Penampang Seismik 3D Lapangan IKJ untuk inline 5475 yang melewati sumur IK2 dan IK15.	64
Gambar 5.2. Peta Struktur kedalaman Lapangan IKJ dengan posisi sumur-sumur di Lapangan IKJ.	65
Gambar 5.3. Deskripsi batuan inti dan lingkungan pengendapan pada sumur IK2. Terdapat dua interval core yaitu core 1 dengan panjang 60 kaki dan core 2 dengan panjang 59 kaki. Foto sayatan tipis berasal dari data petrografi.	67
Gambar 5.4. Sayatan tipis <i>Skeletal Packestone</i> butir terdiri dari alga koral dan <i>rhodoid</i> . Fasies ini menandakan lingkungan laut dangkal berdasarkan keragaman biota dengan pengendapan pada <i>backreef</i> pada energi lemah sampai energi sedang.	69
Gambar 5.5. Sayatan tipis fasies <i>Skeletal Wackestone</i> , Butir terdiri dari alga koral, foraminifera bentonik kecil, foram besar, globigerinoida, fragmen koral, lempeng-lempeng <i>echinoid</i> , ostrakoda. Fasies ini diendapkan pada <i>forereef</i> dengan energi sedang sampai energi tinggi.....	71
Gambar 5.6. Sayatan tipis fasies <i>Alga Bindstone</i> , butir terdiri dari kerak-kerak alga koral dengan foraminifera ; miliolida, foram besar, lempeng halimeda, fragmen koral (pada beberapa tempat), terisi lumpur dan mengalami disolusi, <i>skeletal</i> termikritisasi dan beberapa foraminifera menghitam. Fasies ini diendapkan pada lingkungan <i>backreef</i>	72
Gambar 5.7. Sayatan tipis fasies <i>Skeletal Packestone</i> dan <i>Grainstone</i> . Beberapa pori lokal merupakan pori intergranular yang telah terisi kalsit, pori lainnya terisi oleh kaolinit, beberapa pori tambahan terbentuk oleh rekahan dan sebagian telah terisi kalsit	73

- Gambar 5.8. Sayatan tipis fasies *Skeletal Peloid Packestone*. Butir didominasi oleh *skeletal shred* dan *peloid*. Beberapa pori vuggy mengalami sementasi oleh kalsit dan kaolinit.....74
- Gambar 5.9. Deskripsi batuan inti dan lingkungan pengendapan pada sumur IK15. Terdapat lima interval core yaitu core 1 dengan panjang 18.9 kaki, core 2 dengan panjang 20.66 kaki, core 3 dengan panjang 25.66 kaki, core 4 dengan panjang 3.5 kaki, dan core 5 dengan panjang 41 kaki.75
- Gambar 5.10. Sayatan tipis fasies *Intraclast Rudstone*. Fasies ini merupakan grain supported, mempunyai sortasi yang buruk. Intraclast terdiri dari fragmen *wackestone*, *packestone*, *grainstone* dan koral *framestone*.77
- Gambar 5.11. Sayatan tipis fasies *Packestone* ke *Framestone*. Fasies ini merupakan *grain supported*, kelimpahan bioklast didominasi oleh foram besar dengan sebagian kecil foram kecil (termasuk rovalida dan miliolida), alga merah. Semen *patchy calcite* mengisi ruang pada pori dan membentuk pola ekinodermata78
- Gambar 5.12. Sayatan tipis fasies *Foraminifera Grainstone*, kelimpahan bioklast didominasi oleh foram besar dengan sebagian kecil foram kecil (termasuk rovalida dan miliolida), alga merah, sedikit ekinodermata, serta moluska dan *bryozoa* yang sangat sedikit, lumpur karbonat terdapat diantara bioklas.....80
- Gambar 5.13. Sayatan tipis fasies *Intraclast Floatstone*. Komposisi dari fasies ini didominasi oleh intraclast besar yang disertai komponen bioklas dengan matriks yang terdistribusi antar butir. Bioklas merupakan bentonik kecil (rovalida), ekinodermata, koral, foram besar dan alga merah81
- Gambar 5.14. Sayatan tipis fasies *Packestone* ke *Wackestone*. Terdiri dari intraclast dengan ukuran 0.2-8.4 mm dengan jumlah bioklas yang lebih sedikit dan terletak pada matrik-matrik dolomit. Intraclast

- terdiri dari fragmen-fragmen *packestone*, *wackestone*, dan *mudstone*.....82
- Gambar 6.1. Pembagian *flow unit* berdasarkan plot silang antara RQI dan ϕ_z , dari hasil plot silang ini maka didapatkan lima hidrolik unit dengan koefisien korelasi yang cukup bagus yaitu rata-rata pada 0,9.....83
- Gambar 6.2. Kurva FZI dalam klasifikasi *Hydraulic Unit* (HU), nilai FZI ditentukan dengan kemiringan pada saat $\phi_z = 1$ 84
- Gambar 6.3. Pembagian *rock type* menggunakan *isopore throat line* serta plot silang porositas dan permeabilitas pada Sumur IK2, koefisien korelasi untuk masing-masing *rock type* cukup bagus dengan nilai rata-rata 0.8.....89
- Gambar 6.4. Plot silang antara K_{core} dengan $K_{transform}$, koefisien korelasi cukup bagus yaitu 0,831.....93
- Gambar 6.5. Plot silang porositas dan permeabilitas pada data batuan inti dengan nilai koefisien korelasi 0.84.....94
- Gambar 6.6. Penentuan zona *rock type* pada *uncored interval*95
- Gambar 6.7. Validasi *rock type* dengan tekanan kapiler, dari kurva bisa dilihat bahwa semakin ke kiri maka kualitas properti *rock type* semakin bagus karena pori yang lebih besar lebih dulu terisi fluida pada saat dilakukan injeksi merkuri.96
- Gambar 6.9. Distribusi RRT Formasi Tuban, Lapangan IKJ, dari kiri atas ke kanan bawah searah jarum jam merupakan perubahan kedalaman setiap 100 kaki, terlihat RT2 dan RT3 lebih dominan. RT2 dan RT3 ini lebih tersebar ke arah utara.....99
- Gambar 6.10. Distribusi Porositas efektif (PHIE), Formasi Tuban Lapangan IKJ. dari kiri atas ke kanan bawah searah jarum jam merupakan perubahan kedalaman setiap 100 kaki Semakin ke arah warna merah maka nilai PHIE semakin tinggi, untuk warna ungu menandakan nilai porositas yang rendah.....100
- Gambar 6.11. Distribusi nilai permeabilitas pada Formasi Tuban Lapangan IKJ, dari kiri atas ke kanan bawah searah jarum jam merupakan

perubahan kedalaman setiap 100 kaki Semakin ke arah warna merah maka nilai permeabilitas semakin tinggi, untuk warna ungu menandakan nilai porositas yang rendah.....101

Gambar 6.11. *Rock Type 1* (kanan : kurva tekanan kapiler vs saturasi air, kiri : sayatan tipis *foraminifera grainstone*) pada fasies litologi *foraminifera grainstone*, tipe pori yang berkembang pada *rock type* ini yaitu *vuggy*, *mouldic* serta *open fracture* pada sebagian kecil.102

Gambar 6.12. *Rock Type 2* (kanan : kurva tekanan kapiler vs saturasi air, kiri : sayatan tipis fasies *skeletal packestone* ke *grainstone*) Tipe pori yang berkembang yaitu interpartikel pada sebagian kecil dan sebagian besar berupa porositas sekunder.103

Gambar 6.13. *Rock Type 3* (Kanan : kurva tekanan kapiler vs saturasi air, kiri : sayatan tipis dari fasies *intraclast packestone* ke *wackestone*), tipe pori yang berkembang pada fasies ini yaitu *vuggy* dan *mouldic* ..104

Gambar 6.14. *Rock Type 4* (kanan : kurva tekanan kapiler vs saturasi air, kiri : sayatan tipis fasies *intraclast floatstone*), porositas yang terlihat hampir tidak bisa diamati. Tipe pori yang berkembang yaitu *vuggy*, *mouldic*, interpartikel, interkristalin dan *open fracture*.....105

Gambar 6.15. *Rock Type 5* (kanan : kurva tekanan kapiler vs saturasi air, kiri : sayatan tipis fasies *skeletal peloid packestone*), porositas yang terlihat *vuggy*, interpartikel.105

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Ringkasan Studi Terdahulu	11
Tabel 3.1.	Klasifikasi <i>port size</i> (Hartmann dan Beaumont., 1999)	53
Tabel 4.1.	Ketersediaan Data Sumur Penelitian	58
Tabel 4.2.	<i>Datacore</i> untuk sumur IK2 dan IK15	59
Tabel 4.3.	Jadwal Penelitian	63
Tabel 5.1.	Perhitungan Hidrolik Unit dengan metode FZI, porositas (%) dan permeabilitas (mD) berasal dari batuan inti	85
Tabel 5.2.	Perhitungan penentuan <i>pore throat</i> menggunakan rumus Winland, porositas dalam % dan permeabilitas dalam mD dari batuan inti ..	89