

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Daerah Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
1.7 Peneliti Terdahulu.....	5
<b>BAB 2 GEOLOGI REGIONAL</b> .....	8
2.1 Konfigurasi Cekungan Salawati.....	8
2.2 Evolusi Tektonik Cekungan Salawati Masa <i>Tertiary</i> .....	9
2.2.1 Evolusi Tektonik Masa <i>Mid-Pliocene</i> (Evolusi Tahap 1).....	10
2.2.2 Evolusi Tektonik Masa <i>Late-Pliocene</i> (Evolusi Tahap 2).....	10
2.2.3 Evolusi Tektonik Masa <i>Plio-Pleistocene</i> (Evolusi Tahap 3).....	10
2.2.4 Evolusi Tektonik Masa <i>Pleistocene</i> (Evolusi Tahap 4).....	10
2.3 Stratigrafi Cekungan Salawati.....	11
2.3.1 Stratigrafi Cekungan masa Pra-Tersier.....	12
2.3.2 Stratigrafi Cekungan Masa Tersier.....	13
2.4 Sistem <i>Petroleum</i> Cekungan Salawati.....	14
2.4.1 Batuan Induk.....	14
2.4.2 Migrasi Hidrokarbon.....	14

2.4.3 Batuan Reservoir dan Perangkap Hidrokarbon.....	17
2.4.4 Mekanisme Pemerangkapan Hidrokarbon dan Infiltrasi Air Meteorik.....	18
2.4.5. Batuan Tudung.....	18

### **BAB 3 TINJAUAN PUSAKA**

3.1 Minyak Bumi.....	19
3.1.1 Komposisi Minyak Bumi.....	20
3.1.2 Penggolongan Minyak Bumi.....	21
3.1.2.1 Golongan Parafin (Asiklik).....	22
a. Hidrokarbon Jenuh .....	22
b. Hidrokarbon Tak Jenuh .....	23
3.1.2.2 Golongan Siklik .....	25
a. Golongan Naftena .....	25
b. Golongan Aromatik .....	25
3.1.3 Klasifikasi Kerogen.....	26
3.1.3.1 Kerogen Tipe I .....	26
3.1.3.2 Kerogen Tipe II .....	27
3.1.3.3 Kerogen Tipe III .....	28
3.1.3.4 Kerogen Tipe IV .....	28
3.1.4 Mekanisme Pembentukan Hidrokarbon.....	29
3.2 Analisis Geokimia Minyak Bumi.....	31
3.2.1 Pengamatan Sifat Fisik Minyak.....	31
3.2.1.1 Berat Jenis .....	31
3.2.1.2 Viskositas .....	32
3.2.1.3 <i>Pour point</i> .....	33
3.2.1.4 Kandungan <i>Wax</i> .....	33
3.2.1.5 Kandungan Sulfur .....	35
3.2.2 Analisis Biomarker.....	35
3.2.2.1 Struktur Kimia dan Penamaan Biomarker (Sterana dan Triterpana) .....	36
3.2.2.2 Asal Mula Sterana dan Triterpana .....	39
a. Sterana .....	39

b. Triterpana .....	40
3.2.2.3 Biomarker sebagai Indikator Organik Fasies .....	42
a. Sterana .....	42
b. Triterpana.....	43
3.2.3 Analisis Kromatograf Gas-Spektrometer Massa (GC-MS).....	45
3.2.4 Analisis Isotop Karbon.....	48
3.2.5 <i>Water Washing</i> dan Biodegradasi.....	51
3.2.5.1 <i>Water Washing</i> .....	52
3.2.5.2 Biodegradasi .....	53
3.3 Karakteristik Air Formasi.....	58
 <b>BAB 4 HIPOTESIS DAN METODE PENELITIAN.....</b>	<b>63</b>
4.1 Hipotesis.....	63
4.2 Metode Penelitian.....	63
4.2.1 Studi Pustaka.....	64
4.2.2 Tahap Pengumpulan Data.....	64
4.2.3 Alat Penelitian.....	66
4.2.4 Analisis Data.....	66
4.2.5 Integrasi Data.....	68
4.3 Diagram Alir Penelitian.....	69
4.4 Jadwal Penelitian.....	69
 <b>BAB 5 ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>	<b>71</b>
5.1 Pengumpulan Data.....	71
5.1.1 Data Seismik.....	71
5.1.2 Data Sumur.....	71
5.1.3 Data Curah Hujan.....	72
5.1.4 Data Hasil Analisa Laboratorium.....	73
5.1.4.1 Data Hasil Analisa Air Formasi .....	73
5.1.4.2 Data Hasil Analisa Properti Minyak .....	74
5.1.4.3 Data Komposisi Minyak dan Analisa Biomarker.....	76
5.2 Pengolahan Data Seismik dan Sumur.....	77
5.3 Pengolahan Data Air Formasi.....	83

5.4 Analisa Data Properti Minyak Dan Komposisi Minyak.....	84
5.5 Analisa Data Komposisi Senyawa Minyak.....	86
5.6 Pengolahan Data Analisa Biomarker.....	87
5.6.1 Sumur WKG-1.....	87
5.6.2 Sumur KG-1 .....	90
5.6.3 Sumur KG-2.....	93
5.6.4 Sumur KF-1.....	94
<b>BAB 6 INTEGRASI DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>95</b>
6.1 Migrasi Hidrokarbon Daerah Penelitian.....	95
6.2 Infiltrasi Air Meteorik.....	96
6.3 Pengaruh Infiltrasi Air Meteorik terhadap Minyak dalam Reservoar.....	100
<b>BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>103</b>
7.1 Kesimpulan.....	103
7.2 Saran.....	104
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>105</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta geologi Indonesia (Darman dan Sidi, 2000).....	3
Gambar 1.2	Peta kemungkinan area biodegradasi Cekungan Salawati (Satyana & Wahyudin, 2000).....	5
Gambar 2.1	Posisi Cekungan Salawati dalam tektonik regional Indonesia Timur (Satyana, <i>et al.</i> , 2002).....	8
Gambar 2.2	Tatanan geologi Cekungan Salawati (Satyana, <i>et al.</i> , 2002) .....	9
Gambar 2.3	Struktur yang terbentuk pada masa sekarang dan empat <i>trend</i> struktur yang teridentifikasi (Satyana, <i>et al.</i> , 2002).....	11
Gambar 2.4	Kolom stratigrafi Cekungan Salawati (Satyana, <i>et al.</i> , 2002).....	12
Gambar 2.5	Gambar skema migrasi hidrokarbon melalui <i>carrier bed</i> (Hindle, 1997 dalam Satyana, <i>et al.</i> , 1999).....	16
Gambar 2.6	Tujuh punggung jalur migrasi hidrokarbon di Cekungan Salawati (Satyana, Salim, & Demarest, Significance of Focused Hydrocarbon Migration in The Salawati Basin : Controls of Faults and Structural Noses, 1999).....	16
Gambar 2.7	Peta model distribusi fasies karbonat berdasarkan paleogeografi dan petrografi mikrofasies (Satyana, 2003) .....	17
Gambar 3.1	Contoh-contoh hidrokarbon (Waples, 1985).....	19
Gambar 3.2	Contoh penyederhanaan penggambaran senyawa hidrokarbon normal pentana dan sikloheksana (Waples, 1985).....	20
Gambar 3.3	Distribusi senyawa-senyawa hidrokarbon dalam minyak mentah. (Speight, 2001 dalam Stenby, <i>et al.</i> , 2008).....	21
Gambar 3.4	Struktur hidrokarbon isoprenoid <i>phytana</i> dan <i>pristana</i> (Waples, 1985) .....	23
Gambar 3.5	Struktur senyawa alkena (Waples, 1985) .....	24
Gambar 3.6	Beberapa tipe hidrokarbon golongan naftena .....	25
Gambar 3.7	Beberapa tipe hidrokarbon aromatik (Waples, 1985).....	26
Gambar 3.8	Diagram Van Kravelen menunjukkan tiga tipe kerogen berdasarkan rasio atom H/C and rasio atom O/C. (Killops, <i>et al.</i> , 1993 dalam Leythaeuser, 2008) .....	28

Gambar 3.9	Diagram proses pembetulan kerogen (dimodifikasi berdasarkan McKenzie dan Quigley, 1998 dalam Leuthaeuser, 2008).....	29
Gambar 3.10	Contoh peningkatan kandungan sulfur pada minyak Alaska North Slope yang mengalami biodegradasi (Magoon dan Claypool, 1981 dalam Waples 1985).....	30
Gambar 3.11	Struktur kimia isoprena dan cara penggambaran monoterpana yang dibentuk dari dua unit isoprena (Waples dan Machihara, 1991).....	35
Gambar 3.12	Struktur kimia dan penamaan untuk tipikal biomarker sterana dan triterpana (Waples dan Machihara, 1991) .....	36
Gambar 3.13	A. Sistem penomoran biomarker sterana. B Sistem penomoran biomarker triterpana. Diadopsi dari Mackenzie 1984 (Waples dan Machihara, 1991).....	37
Gambar 3.14	Dua senyawa hopana yang berbeda karena hilangnya gugus metil C-25 (Waples dan Machihara, 1991).....	38
Gambar 3.15	A. Struktur sterol C <sub>27</sub> sampai C <sub>30</sub> pada organisme fotosintesa B. Struktur sterana C <sub>27</sub> sampai C <sub>30</sub> yang dihasilkan dari sterol (Waples dan Machihara, 1991).....	39
Gambar 3.16	A. Struktur hopana C <sub>30</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H) B. Struktur moretana C <sub>31</sub> (20R) (Waples dan Machihara, 1991) .....	40
Gambar 3.17	Struktur 28,30 bisnorhopana, 25,28,30-trisnorhopana, gammaserana dan oleanana 18 $\alpha$ (H) (Waples dan Machihara, 1991) .....	41
Gambar 3.18	Diagram segitiga memperlihatkan komposisi sterol pada makhluk hidup pada lingkungan tertentu (Huang dan Meinschein, 1979 dalam Waples dan Machihara, 1991).....	41
Gambar 3.19	M/z 191 (triterpana) memperlihatkan variasi distribusi hopana 17 $\alpha$ (H) extended C <sub>31</sub> – C <sub>35</sub> (Waples dan Machihara, 1991) .....	42
Gambar 3.20	Diagram skema sistim kromatograf-spektrometer massa (Waples dan Machihara, 1991) .....	44
Gambar 3.21	Contoh dari jejak untuk total ion dan kromatogram massa untuk sterana dan triterpana (Waples dan Machihara, 1991).....	46
Gambar 3.22	Perbandingan konfigurasi proton, neutron dan elektron dalam isotop karbon yang stabil. (Peters dan Moldowan, 1993) .....	48

Gambar 3.23	Rentang nilai $\delta^{13}\text{C}$ untuk berbagai macam material yang mengandung karbon (Waples, 1985) .....	49
Gambar 3.24	Biodegradasi, oksidasi hidrokarbon yang menghasilkan ketone, acid dan alcohol (Jobson, <i>et al.</i> , 1972 dalam Satyana, <i>et al.</i> , 2000) .....	51
Gambar 3.25	Gambar penurunan nilai GOR dan peningkatan CO <sub>2</sub> minyak yang mengalami biodegradasi (Wenger et al, 2002).....	54
Gambar 3.26	Kromatograf massa m/z 217 (sterana) yang memperlihatkan hilangnya epimer $\alpha\alpha$ -20R untuk minyak yang mengalami biodegradasi sangat berat (Alexander, <i>et al.</i> , 1983 dalam Waples dan Machihara, 1991) .....	56
Gambar 3.27	Gambar reservoir yang tersaturasi oleh air, minyak dan gas (Modifikasi dari Amyx 1960, dalam Kuchuk, <i>et al.</i> , 1999).....	57
Gambar 3.28	Air formasi pada cekungan yang terlindungi dari infiltrasi air permukaan dan air formasi yang terletak cukup dangkal pada daerah dengan tektonik tidak stabil (Kuchuk, <i>et al.</i> ,1999) .....	59
Gambar 3.29	Diagram Stiff menggambarkan perbedaan karakter berbagai jenis air dan <i>brine</i> (Kuchuk, et al., 1999) .....	60
Gambar 4.1	Peta data seismik dan sumur .....	66
Gambar 4.2	Diagram alir penelitian .....	69
Gambar 5.1	Distribusi data seismik dan sumur.....	71
Gambar 5.1	Peta lokasi daerah penelitain dan sumur-sumur referensi .....	77
Gambar 5.2	Seismogram sintetik sumur KF-2 dengan korelasi sebesar 70% - 85%.....	78
Gambar 5.3	<i>Composite line</i> seismik berarah Timur-Barat yang sudah diinterpretasi.....	79
Gambar 5.4	Lintasan-lintasan seismik 2D berarah Utara-Selatan yang sudah diinterpretasi.....	80
Gambar 5.5	Hasil interpretasi <i>picking horizon</i> puncak reservoir batugamping Formasi Kais diintegrasikan dengan <i>picking</i> secara manual .....	81

Gambar 5.6	Peta struktur bawah permukaan batas atas reservoir batugamping Formasi Kais dalam kawasan waktu.....	81
Gambar 5.7	Peta <i>RMS velocity</i> hasil <i>reprocessing</i> seismik 2D.....	82
Gambar 5.8	Peta struktur bawah permukaan batas atas reservoir batugamping Formasi Kais dalam kawasan kedalaman.....	82
Gambar 5.9	Diagram Stiff air formasi reservoir batugamping Formasi Kais sumur WKG-1.....	83
Gambar 5.10	Diagram Stiff air formasi reservoir batugamping Formasi Kais sumur KG-1.....	83
Gambar 5.11	Diagram Stiff air formasi reservoir batugamping Formasi Kais sumur KG-2.....	84
Gambar 5.12	Diagram Stiff air formasi reservoir batugamping Formasi Kais sumur KF-1, air sungai dan <i>drilling water</i> .....	84
Gambar 5.13	Diagram Stiff air formasi reservoir batugamping Formasi Kais sumur R-1.....	85
Gambar 5.14	<i>Crossplot</i> gravitasi API dan kandungan sulfur.....	86
Gambar 5.15	Diagram <i>Ternary</i> komposisi senyawa minyak.....	88
Gambar 5.16	Pola distribusi senyawa karbon sumur WKG-1.....	89
Gambar 5.17	Pola kromatogram hasil analisa conto minyak hasil ekstraksi air fomasi kedalaman 6170' – 6207' sumur WKG-1.....	90
Gambar 5.18	Pola kromatogram sumur KG-1 hasil analisa conto minyak ( <i>whole oil</i> ) kedalaman 5100' – 5120 dan 5128' - 5226'.....	91
Gambar 5.19	Pola kromatogram sumur KG-1 hasil analisa conto minyak ( <i>whole oil</i> ) kedalaman 5296' – 5316 dan 5390' – 5412'.....	91
Gambar 5.20	Analisa kromatografi gas spektrometer massa (sterana dan terpana) conto minyak sumur KG-1 dibandingkan dengan analisa conto minyak sumur yang mengalami biodegradasi dan tidak mengalami biodegradasi.....	93
Gambar 5.21	Kromatogram gas sumur KG-2 hasil analisa conto minyak ( <i>whole oil</i> ) kedalaman 5140' – 5375'.....	94
Gambar 5.22	Kromatogram gas sumur KF-1 hasil analisa conto minyak ( <i>whole oil</i> ) kedalaman 4134' – 4142'.....	95

Gambar 6.1	Model migrasi hidrokarbon ke dalam reservoir batugamping Kais melalui punggungan Arar.....	96
Gambar 6.2	Model migrasi hidrokarbon ke dalam reservoir batugamping Kais dan segregasi hidrokarbon secara vertikal dan lateral (dibangun dari log data sumur).....	97
Gambar 6.3	Model infiltrasi air meteorik ke dalam reservoir batugamping Kais (dibangun dari data seismik).....	98
Gambar 6.4	Model infiltrasi air meteorik ke dalam reservoir batugamping Kais (dibangun dari data log sumur).....	99

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Persentase elemen-elemen utama penyusun minyak mentah.....	20
Tabel 3.2	Contoh senyawa hidrokarbon golongan n-alkana.....	22
Tabel 3.3	Isotop stabil yang digunakan dalam geokimia organik.....	49
Tabel 3.4	Karakteristik-karakteristik minyak yang mengalami biodegradasi.....	55
Tabel 3.5	Tingkat biodegradasi.....	55
Tabel 4.1	Jadwal penelitian.....	70
Tabel 5.1	Ketersediaan data log listrik.....	72
Tabel 5.2	Tabulasi data curah hujan dalam setahun dan curah hujan rata-rata stasiun meteorologi Jefman, Kabupaten Sorong.....	73
Tabel 5.3	Ketersediaan data analisa air formasi.....	74
Tabel 5.4	Ketersediaan data properti minyak.....	75
Tabel 5.5	Ketersediaan data komposisi <i>crude oil</i> dan data analisa biomarker.....	76
Tabel 5.6	Hasil uji kandung lapisan sumur KG-1.....	77
Tabel 5.7	Sifat properti minyak daerah penelitian.....	86
Tabel 5.8	Komposisi senyawa minyak daerah penelitian.....	87