

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Kegunaan Penelitian	4
1.5 Kerangka Pemikiran	4
1.6 Metodologi Penelitian.....	5
1.7 Lokasi dan Waktu Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Geologi Regional Cekungan Natuna Barat.....	8
2.1.1 Tektonik Regional Cekungan Natuna Barat	9
2.1.2 Stratigrafi Regional Cekungan Natuna Barat	11
2.1.3 Sistem Minyak Bumi (<i>Petroleum System</i>) di Cekungan Natuna Barat.....	14
2.2 Konsep Dasar Geokimia Batuan Induk dan Minyak Bumi	17
2.2.1 Batuan Induk (<i>Source Rock</i>).....	17
2.3 Evaluasi Batuan Induk (<i>Source Rock Evaluation</i>)	18
2.4 Parameter Evaluasi Batuan Induk	18

2.4.1	Penentuan Kuantitas Batuan Induk.....	19
2.4.2	Penentuan Kualitas Batuan Induk	21
2.4.3	Tingkat Kematangan Batuan Induk	27
2.5	Biomarker	32
2.5.1	Analisis Gas Chromatography (GC)	33
2.5.2	Metode Kromatografi Kolom (LC).....	37
2.5.3	Analisis Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC - MS).....	37
BAB III METODE PENELITIAN		44
3.1	Tahap Perencanaan dan Persiapan.....	45
3.2	Tahap Penyusunan Data.....	46
3.3	Tahap Pengolahan dan Analisis Data	46
3.3.1	Karakteristik Batuan Induk.....	46
3.3.2	Analisis Biomarker	59
3.4	Tahap Penyusunan Skripsi	65
3.5	Diagram Alir Penelitian	66
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		67
4.1	Inventarisasi Data Geokimia	67
4.2	Evaluasi Batuan Induk	68
4.2.1	Organic Richness dengan Metode Pirolisis Rock – Eval dan Analisis Karbon (LECO).....	68
4.2.2	Tipe Material Organik	73
4.2.3	Tingkat Kematangan Material Organik.....	78
4.2.4	Well Resume Evaluasi Batuan Induk.....	85
4.3	Analisis Biomarker Batuan Induk	91
4.3.1	Gas Kromatografi Sampel Ekstrak Batuan Induk.....	91
4.3.2	Kromatografi Kolom (LC) Sampel Ekstrak Batuan Induk.....	96
4.3.3	Analisis Biomarker Gas Kromatografi – Spektometri Massa (GC – MS). 97	
4.4	Analisis Biomarker Minyak Bumi	104
4.4.1	Gas Kromatografi Sampel Minyak Bumi.....	104
4.4.2	Kromatografi Kolom (LC) Sampel Ekstrak Batuan Induk.....	109

4.3.3 Analisis Biomarker Gas Kromatografi-Spektrometri Massa (GC-MS)...	110
4.5 Korelasi Batuan Induk dan Minyak Bumi	121
4.5.1 Gas Kromatografi Sampel Minyak Bumi dan Ekstrak Batuan Induk.....	122
4.5.2 Kromatografi Kolom (LC) Sampel Minyak Bumi dan Ekstrak Batuan Induk	125
4.5.3 Analisis Biomarker Gas Kromatografi – Spektometri Massa (GC – MS) Sampel Minyak Bumi dan Ekstrak Batuan Induk	126
4.5.4 Resume Korelasi Minyak Bumi dan Batuan Induk	132
4.6 Sintesis Geologi.....	135
4.6.1 Tektonostratigrafi, Stratigrafi, Lingkungan Pengendapan	135
4.6.2 <i>Petroleum System</i> Daerah Penelitian	138
BAB V KESIMPULAN	141
DAFTAR PUSTAKA.....	143

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Linimasa Kegiatan Penelitian.....	6
Tabel 2. 1 Kategori kekayaan batuan induk berdasarkan nilai TOC (Waples, 1985)	20
Tabel 2. 2 Hubungan antara nilai TOC, S1, S2, jumlah bitumen, dan jumlah hidrokarbon terhadap kuantitas material organik (Peters dan Cassa, 1994).....	21
Tabel 2. 3 Hubungan antara tipe kerogen, maseral, asal material organik, dan potensi hidrokarbon (Waples, 1985)	23
Tabel 2. 4 Klasifikasi tipe kerogen berdasarkan indeks hydrogen (HI), perbandingan S2/S3, dan perbandingan atom hydrogen terhadap atom karbon (H/C) (Peters dan Cassa, 1994)	25
Tabel 2. 5 Pembagian kemampuan batuan menggenerasikan berdasarkan potential yield (Peters dan Cassa, 1994)	27
Tabel 2. 6 Pembagian tingkat kematangan berdasarkan Tmax (Peters dan Cassa, 1994)	28
Tabel 2. 7 Pembagian tingkat kematangan berdasarkan production index (Peters dan Cassa, 1994)	29
Tabel 2. 8 Klasifikasi kematangan material organik berdasarkan analisis metode reflektansi vitrinit dan pirolisis	31
Tabel 2. 9 Tipe biomarker dan penyusunnya (Waples, 1985)	32
Tabel 2. 10 Tingkat kematangan batuan induk berdasarkan rasio Tm/Ts (Peters dan Moldowan, 1993).....	41
Tabel 3. 1 Inventarisasi Data Seluruh Sumur	46
Tabel 4. 1 Ketersediaan data untuk evaluasi batuan induk.....	67
Tabel 4. 2 Ketersediaan data untuk biomarker	67
Tabel 4. 3 Tabel Well Resume Sumur PN - 1	85
Tabel 4. 4 Well Resume Sumur GA - 1	87
Tabel 4. 5 Well Resume Sumur GP - 2.....	89
Tabel 4. 6 Sampel Ekstrak Batuan Induk Metode GC	91
Tabel 4. 7 Interpretasi plot Ph/C18 vs Pr/C17 sumur GA - 1	95
Tabel 4. 8 Sampel Ekstrak Batuan Induk Metode GC - MS.....	98
Tabel 4. 9 Sampel Ekstrak Batuan Induk Metode GC	104
Tabel 4. 10 Interpretasi plot Ph/C18 vs Pr/C17 sumur GA - 1	107
Tabel 4. 11 Inventarisasi Data Sampel Minyak Metode GC-MS	110
Tabel 4. 12 Resume Hasil Analisis Biomarker Sampel Minyak Bumi dan Batuan Induk	133

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Lokasi Sumur Penelitian (PT. Geoservices)	7
Gambar 2.1 Elemen struktur Cekungan Natuna Barat (Murti dkk., 2015).....	8
Gambar 2. 2 Tektonik Regional Cekungan Natuna Barat (Tjia, 1998).....	9
Gambar 2. 3 Basin Evolution of West Natuna Basin (Ilona, 2006)	11
Gambar 2. 4 Stratigrafi Cekungan Natuna Barat (Awang H, 2008)	14
Gambar 2.5 Diagram skematik penganalisis karbon LECO (Waples, 1985)	20
Gambar 2 6 Skema sistem metode pirolisis menggunakan alat Rock – Eval II (Sopannata, 1996)	23
Gambar 2.7 Perubahan pemantulan pada minyak (Ro) untuk (A) Intertinit (B) Vitrinit (C) Liptinit Hunt (1979)	30
Gambar 2.8 Plot TOC vs vitrinite reflectance (Ro) menunjukkan oil window , condensate atau wet gas, dan dry gas.	31
Gambar 2.9 Diagram skematik Gas Kromatografi (GC) (Subroto, 1993)	33
Gambar 2.10 Hasil data GC dalam bentuk kromatogram (Waples, 1985)	34
Gambar 2.11 Klasifikasi tipe minyak mentah di Indonesia berdasarkan gas kromatografi pada C10+ menurut Robinson (1987)	35
Gambar 2 12 Rumus Perhitungan Carbon Preference Index (Bray dan Evans, 1961 dalam Tissot dan Welte, 1984).....	36
Gambar 2.13 Diagram Ph/ nC18 vs Pr/nC17 (Connan dan Cassou, 1980)	37
Gambar 2.14 Diagram skema dari alat kromatografi gas – spektometri massa (GC-MS) (Waples, 1985).....	38
Gambar 2.15 Diagram skema dari alat kromatografi gas – spektometri massa (GC-MS) (Waples, 1985).....	39
Gambar 2.16 Salah satu sidik jari yang dihasilkan oleh proses GC – MS (kiri) Triterpanes m/z 191 dan (kanan) Steranes m/z 217	39
Gambar 2.17 Berbagai pola triterpana trisiklik sebagai penunjuk lingkungan pengendapan (Price dkk., 1987).....	40
Gambar 2.18 Kromatogram triterpana (m/z 191)	43
Gambar 2 19 Diagram distribusi C27, C28, dan C29 yang menunjukkan lingkungan pengendapan dan asal material organik (Huang dan Meinschein).	44
Gambar 3. 1 Diagram TOC vs kedalaman (depth) (Peters and Cassa, 1994).....	47

Gambar 3. 2 Diagram Potential Yield (PY) (S1+S2) vs depth (Peters and Cassa, 1994)	47
Gambar 3. 3 Diagram TOC vs S2 (Peters and Cassa, 1994)	48
Gambar 3. 4 Alat analisis karbon untuk menentukan nilai TOC	50
Gambar 3. 5 Diagram HI vs Tmax Adaptasi dari Van Krevelen (Peters and Cassa, 1994) ...	51
Gambar 3. 6 Diagram Depth vs %Ro (K. E. Peters dan Cassa, 1994)	52
Gambar 3. 7 Diagram Tmax vs Depth (K. E. Peters dan Cassa, 1994).....	52
Gambar 3. 8 Sokhlet untuk mengekstrak batuan induk dalam metode ekstraksi soklet (kiri), larutan DiChloroMethane (DCM) (kanan)	54
Gambar 3. 9 Penuangan larutan Zinclorida (ZnCh) (kiri), alat disentrifugal (kanan)	55
Gambar 3. 10 Bagian atas dari tabung kecil yang berwarna hitam diindikasikan kerogen (kiri), Plat kaca kerogen yang siap dianalisis (kanan).....	55
Gambar 3. 11 Sampel vitrinite dalam polished block yang siap dianalisis	56
Gambar 3. 12 Mikroskop LEICA DM 4500P LED, camera sensor, dan photometry	57
Gambar 3. 13 Kalibrasi untuk hidrokarbon (YAG 0.9) (kiri) dan (Gambar 2.15) layar aplikasi FOSSIL di komputer	57
Gambar 3. 14 Tampilan layar saat analisis reflektansi vitrinit dengan kenampakan kerogen tipe vitrinit	58
Gambar 3. 15 Tampilan diagram batang (histogram) yang menunjukkan frekuensi nilai reflektansi vitrinite, nilai #, nilai Rx%, dan s.	59
Gambar 3. 16 Diagram Oil Bulk Composition (Peters dan Cassa, 1994).....	60
Gambar 3. 17 (kiri – kanan) Pelarut isooctane, DCM, Hexane, mol sieve activated, silica gel activated	62
Gambar 3. 18 Diagram Pr/nC ₁₇ vs Ph/nC ₁₈ (Hunt, 1979)	63
Gambar 3. 19 Diagram Hopana/Sterana vs Pristana/Fitana (Sletten, 2003).....	63
Gambar 3. 20 Diagram perbandingan sterane C ₂₇ , C ₂₈ , dan C ₂₉ untuk menentukan paleoekologi (Hwang & Meinschein, 1979).....	64
Gambar 3. 21 Plot antara isomerisasi sterana C ₂₉ αβR+S/αααS+R dan C ₂₉ αααS/αααR....	64
Gambar 3. 22 Diagram Alir Penelitian.....	66
Gambar 4. 1 TOC vs S2 Sumur PN - 1	69
Gambar 4. 2 TOC vs S2 Sumur GA - 1.....	70
Gambar 4. 3 Plot TOC vs S2 Sumur GP - 2	71
Gambar 4. 4 Plot PY (S1 +S2) vs DEPTH	72
Gambar 4. 5 Plot TOC vs DEPTH.....	73
Gambar 4. 6 Plot HI vs Tmax sampel batuan induk Sumur PN – 1.....	75
Gambar 4. 7 Plot HI vs Tmax sampel batuan induk Sumur GA – 1	76
Gambar 4. 8 Plot HI vs Tmax sampel batuan induk Sumur GP – 2.....	77
Gambar 4. 9 Profil tingkat kematangan berdasarkan nilai Tmax dan Ro sumur PN - 1	79
Gambar 4. 10 Nilai Ro terhadap kedalaman pada sumur PN – 1	80
Gambar 4. 11 Nilai Tmax terhadap kedalaman pada sumur PN – 1	80
Gambar 4. 12 Profil tingkat kematangan berdasarkan nilai Tmax dan Ro sumur GA – 1	81
Gambar 4. 13 Nilai Ro terhadap kedalaman pada sumur GA – 1	82

Gambar 4. 14 Nilai Tmax terhadap kedalaman pada sumur GA – 1	82
Gambar 4. 15 Profil tingkat kematangan berdasarkan nilai Tmax dan Ro sumur GP - 2	83
Gambar 4. 16 Nilai Ro terhadap kedalaman pada sumur GP – 2	84
Gambar 4. 17 Nilai Tmax terhadap kedalaman pada sumur GP – 2.....	84
Gambar 4. 18 Well resume dari evaluasi batuan induk pada sumur PN – 1.....	85
Gambar 4. 19 Well Resume dari evaluasi batuan induk sumur GA - 1	87
Gambar 4. 20 Well Resume dari evaluasi batuan induk sumur GP - 2.....	89
Gambar 4. 21 Distribusi alkane normal dan isoprenoid hasil gas kromatografi pada sampel ekstrak batuan induk kedalaman 5009 ft sumur GA – 1	93
Gambar 4. 22 Distribusi alkane normal dan isoprenoid hasil gas kromatografi pada sampel ekstrak batuan induk kedalaman 8448 ft sumur GP – 2.....	94
Gambar 4. 23 Plot Ph/C18 vs Pr/C17 sampel batuan induk sumur GA – 1 (adaptasi dari Connan dan Cassou, 1980).....	95
Gambar 4. 24 Karakterisasi sampel ekstrak batuan induk GA – 1 (5009 ft) dan GP – 2 (8448 ft) (Tissot dan Welte, 1984).....	97
Gambar 4. 25 Kromatogram triterpana (mz – 191) sampel batuan induk GP – 2 (8448 ft) Formasi Upper Gabus	100
Gambar 4. 26 Plot antara C30 moretana/hopana dengan Tm/Ts pada sampel ekstrak batuan induk sumur GP – 2 (8448 ft) (Miles, 1989)	101
Gambar 4. 27 Diagram termer sterana sampel batuan induk GP – 2 (8448 ft).....	102
Gambar 4. 28 plot rasio pr/ph terhadap hopana/sterana GP – 2 (8448 ft).....	102
Gambar 4. 29 Kromatogram sterana hasil metode GCMS pada m/z 217 Steranes sumur GP – 2 (8448 ft).....	103
Gambar 4. 30 Plot antara isomerisasi sterana C29 $\alpha\beta\beta R+S/\alpha\alpha\alpha S+R$ dan C29 $\alpha\alpha\alpha S/\alpha\alpha\alpha R$ pada sumur GP – 2 (8448 ft).....	103
Gambar 4. 31 Distribusi Saturated GC sampel minyak bumi DST – 2B sumur PN – 1 (5207 – 5284 ft) Formasi Middle Arang	105
Gambar 4. 32 Distribusi alkana normal sampel minyak bumi GA – 1 DST – 2 (3827 – 3889 ft) Formasi Upper Gabus.....	106
Gambar 4. 33 Distribusi alkana normal sampel minyak bumi GP – 2 DST – 2 (7386 - 7434ft) Formasi Upper Gabus	107
Gambar 4. 34 Plot rasio fitana (ph)/C18 vs pristana (pr)/C17 sampel minyak bumi	108
Gambar 4. 35 Karakterisasi sampel minyak bumi DST – 2B sumur PN – 1 (5207 – 5284 ft), GA – 1 DST – 2 (3827 – 3889 ft), dan GP – 2 DST – 2 (7386 - 7434ft) (Tissot dan Welte, 1984)	110
Gambar 4. 36 Kromatogram mz – 191 extended triterpanes sampel minyak PN – 1	112
Gambar 4. 37 Kromatogram mz – 191 triterpanes sampel batuan induk PN – 1.....	112
Gambar 4. 38 Kromatogram mz – 191 triterpanes sampel minyak GA - 1	114
Gambar 4. 39 Kromatogram mz – 191 triterpanes sampel minyak GP - 2.....	115
Gambar 4. 40 Kromatogram mz – 191 extended triterpanes sampel minyak GP – 2 (DST – 2) (7386 - 7434ft) Upper Gabus.....	115
Gambar 4. 41 Plot antara C30 moretana/hopana dengan Tm/Ts pada sampel ekstrak batuan induk sumur GP – 2 (8448 ft) (Miles, 1989)	116

Gambar 4. 42 Diagram termer sterana sampel minyak PN – 1, GA – 1, dan GP - 2.....	118
Gambar 4. 43 Plot rasio pr/ph terhadap hopana/sterana sampel minyak PN – 1, GA – 1, dan GP - 2.....	118
Gambar 4. 44 Kromatogram m/z 217 steranes PN- 1 (DST 2-B).....	119
Gambar 4. 45 Kromatogram m/z 217 steranes GA- 1 (DST 2).....	119
Gambar 4. 46 Kromatogram m/z 217 steranes GP - 2 (DST 2).....	120
Gambar 4. 47 Plot antara isomerisasi sterana C29 $\alpha\beta\beta R+S/\alpha\alpha\alpha S+R$ dan C29 $\alpha\alpha\alpha S/\alpha\alpha\alpha R$ pada sampel minyak PN – 1, GA – 1, dan GP – 2.....	121
Gambar 4. 48 Distribusi alkane normal sampel batuan induk (kiri) sumur GA – 1 5009 ft dan (kanan) sumur GP – 2 8448 ft.....	122
Gambar 4. 49 Distribusi alkana normal sampel minyak bumi.....	123
Gambar 4. 50 Plot rasio Ph/C18 vs Pr/C17 sampel batuan induk dan minyak bumi.....	124
Gambar 4. 51 Karakterisasi sampel minyak bumi dan ekstrak batuan induk pada sumur Salmah-1 (Tissot dan Walte(1978, dalam Waples(1983)).....	126
Gambar 4. 52 Kromatogram triterpana (mz – 191) sampel batuan induk GP – 2 (8448 ft).....	127
Gambar 4. 53 Kromatogram mz – 191 triterpanes sampel minyak bumi.....	128
Gambar 4. 54 Diagram sterana sampel batuan induk dan minyak bumi.....	129
Gambar 4. 55 Plot rasio Pr/Ph terhadap hopana/sterana sampel batuan induk dan minyak bumi.....	130
Gambar 4. 56 Perbandingan C30 moretana/hopana dengan Tm/Ts sampel batuan induk dan minyak bumi.....	131
Gambar 4. 57 Perbandingan C29 $\alpha\beta\beta R+S/\alpha\alpha\alpha S+R$ vs C29 $\alpha\alpha\alpha S/\alpha\alpha\alpha R$	131
Gambar 4. 58 Stratigrafi Cekungan Natuna Barat.....	138
Gambar 4. 59 Korelasi Mud Log Sumur PN – 1 , GP – 2, dan GA – 1.....	139

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Geokimia Sumur PN – 1, GA – 1, dan GP – 2.....	147
Lampiran 2 Data Vitrinite Reflectance (Ro) Sumur PN -1, GA – 1, dan GP – 2.....	148