

EVALUASI KAWASAN BENTANG ALAM KARST INDONESIA KABUPATEN BIAK NUMFOR PROVINSI PAPUA

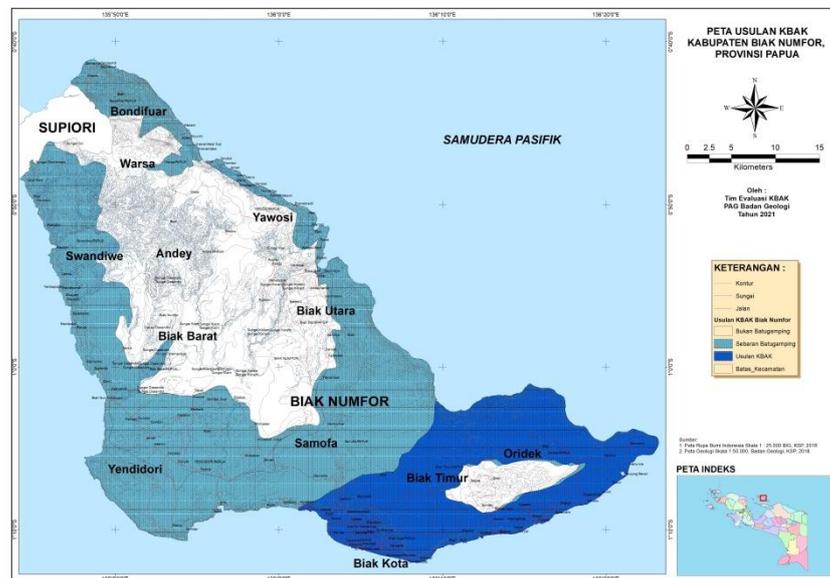
Oleh :

Aris Dwi Nugroho
Aminuddin
Endrik Susanto
Wawan
Oki Oktariadi
Farizal Arief

No. 09 /LAP-BGE.P2K/2021

Program Penelitian, Mitigasi dan Pelayanan Geologi

Kode Program : 020.13.FE
Tahun Anggaran : 2021
Kuasa Pengguna Anggaran : Kasbani
Penanggung Jawab Kinerja : Kasbani
Pejabat Pembuat Komitmen : Endrik Susanto



**KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
BADAN GEOLOGI**

**PUSAT AIR TANAH DAN GEOLOGI TATA LINGKUNGAN
JALAN DIPONEGORO NO.57 BANDUNG 40122**

Telp.(022) 7274676, 7274677. Fax. (022) 7206167, E-Mail : pag@bgl.esdm.go.id

KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
BADAN GEOLOGI
PUSAT AIR TANAH DAN GEOLOGI TATA LINGKUNGAN
JALAN DIPONEGORO NO.57 BANDUNG 40122
Telp. (022) 7274676, 7274677, 7274670, Fax (022) 7206167
Home Page : <http://www.plg.esdm.go.id> E-mail : pag@bgl.esdm.go.id

LEMBAR PENGESAHAN

PROGRAM PENELITIAN, MITIGASI DAN PELAYANAN GEOLOGI

EVALUASI
KAWASAN BENTANG ALAM KARST INDONESIA
KABUPATEN BIAK NUMFOR, PROVINSI PAPUA

Bandung, Desember 2021

Diperiksa dan disetujui oleh:

Koordinator
Kelompok Geologi Lingkungan,



Dr. Ir. Mochammad Wachyudi Memed, M.T
NIP. 19670505 199303 1 002

KATA PENGANTAR

Indonesia memiliki kawasan karst yang luas sebarannya dengan kandungan fungsi strategis di dalamnya seperti fungsi estetika, fungsi ilmiah, dan fungsi hidrologis.

Pemanfaatan kawasan karst yang tidak terkendali akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan yaitu dengan hilangnya fungsi-fungsi strategis karst, baik fungsi estetika, fungsi ilmiah, maupun fungsi hidrologisnya.

Untuk mengendalikan pengembangan kawasan karst, Kementerian ESDM telah mengeluarkan Permen ESDM no.17 tahun 2012 tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst (KBAK). Berdasarkan permen tersebut kawasan bentang alam karst ditetapkan oleh Menteri ESDM.

Berkenaan dengan hal tersebut di atas, Badan Geologi melalui Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan sebagai salah satu unit dari KESDM berkewajiban melakukan verifikasi kawasan bentang alam karst yang akan ditetapkan termasuk kawasan bentang alam karst di Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua.

Bandung, Desember 2021
Pejabat Pembuat Komitmen,



Endrik Susanto, ST
NIP. 19880223 201503 1 003

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	iv
BAB I. PENDAHULUAN	1-1
1.1. Latar Belakang	1-1
1.2. Maksud dan Tujuan	1-2
1.3. Sasaran	1-2
1.4. Luaran	1-2
1.5. Manfaat	1-3
1.6. Personil Pelaksanaan	1-3
1.7. Waktu Pelaksanaan	1-3
1.8. Lokasi	1-4
BAB II. METODOLOGI DAN PERALATAN	2-1
2.1. Metodologi	2-1
2.2. Bahan dan Peralatan	2-2
BAB III. TATANAN GEOLOGI DAERAH LAMBALEDA DAN SEKITARNYA, KABUPATEN BIAK NUMFOR	3-1
3.1. Geomorfologi	3-1
3.2. Stratigrafi	3-5
3.3. Struktur Geologi	3-14
3.4. Hidrogeologi	3-17
3.5. Sebaran Batugamping	3-20
BAB IV. HASIL EVALUASI KAWASAN BENTANG ALAM KARST KABUPATEN BIAK NUMFOR	4-1
4.1. Sebaran dan Kedudukan Formasi Batuan	4-1
4.2. Kriteria Penentuan/Deliniasi KBAK	4-3
4.3. Bentuk Eksokarst	4-4
4.3.1. Bukit	4-4

4.3.2. Dolina, Uvala dan Telaga	4-4
4.3.3. Mataair	4-4
4.4. Bentukan Endokarst	4-5
4.4.1. Gua	4-5
4.4.2. Sungai Bawah Tanah	4-5
4.5. Deliniasi Kawasan Bentang Alam Karst.....	4-5
4.5.1. Sebaran Formasi Batugamping	4-5
4.5.2. Sebaran Eksokarst	4-6
4.5.2.1. Bukit	4-6
4.5.2.2. Dolina, Uvala dan Telaga	4-6
4.5.2.3. Mataair	4-7
4.5.3. Sebaran Endokarst.....	4-8
4.5.3.1. Gua	4-8
4.5.3.2. Sungai Bawah Tanah	4-10
4.6. Peta Usulan Kawasan Bentang Alam Karst	4-15
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1. Kesimpulan	5-1
5.2. Saran	5-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN :

1. Peta Potensi Kawasan Bentang Alam Karst Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua Tahun 2021

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Sebaran Eksokarst dan Endokarst di Kabupaten Biak Numfor.....	4-13
Tabel 4.2. Penentuan KBAK Berdasarkan Eksokarst dan Endokarst Tertentu	4-14

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Peta Lokasi Evaluasi KBAK Kabupaten Biak Numfor	1-4
Gambar 3.1. Peta Geomorfologi Kabupaten Biak Numfor.....	3-1
Gambar 3.2. Morfologi dataran kipas aluvial di Biak Kota (dilihat dari udara)	3-2
Gambar 3.3. Morfologi Perbukitan Karst Kabupaten Biak Numfor	3-3
Gambar 3.4. Morfologi perbukitan kars struktural di Bondifuar	3-4
Gambar 3.5. Singkapan Serpentin di Biak Timur.....	3-6
Gambar 3.6. Singkapan batugamping kapuran dan batugamping napalan	3-6
Gambar 3.7. Batugamping kapuran Formasi Wainukendi (<i>Tomw</i>)	3-7
Gambar 3.8. Batugamping napalan Formasi Wainukendi (<i>Tomw</i>).....	3-7
Gambar 3.9. Batugamping pasir Formasi Wafordori (<i>Tmw</i>).....	3-8
Gambar 3.10. Batugamping pasir Formasi Napisendi (<i>Tmn</i>).....	3-9
Gambar 3.11. Napal pasir Formasi Napisendi (<i>Tmn</i>).....	3-10
Gambar 3.12. Singkapan Napal Formasi Korem (<i>Tmk</i>) di Air Terjun Wafarak, Distrik Biak Utara	3-10
Gambar 3.13. Napal Formasi Korem (<i>Tmk</i>).....	3-11
Gambar 3.14. Singkapan Napal gamping Formasi Wardo (<i>Tmpw</i>).....	3-12
Gambar 3.15. Singkapan Batugamping pasir Formasi Wardo (<i>Tmpw</i>).....	3-12
Gambar 3.16. Singkapan Batugamping koral Formasi Mokmer (<i>Qm</i>).....	3-13
Gambar 3.17. Singkapan Batugamping kapur Formasi Mokmer (<i>Qm</i>).....	3-13
Gambar 3.18. Satuan Endapan Pantai (<i>Qc</i>).....	3-14
Gambar 3.19. Peta Struktur Regional Pulau Biak.....	3-14
Gambar 3.20. Peta Pola Struktur Geologi Kabupaten Biak Numfor.....	3-15
Gambar 3.21. Indikasi sesar turun Sesar Waroi	3-16
Gambar 3.22. Peta Geologi Kabupaten Biak Numfor	3-17

Gambar 3.23. Peta Hidrogeologi Kabupaten Biak Numfor	3-18
Gambar 3.24. Model Proses Karstifikasi.....	3-20
Gambar 4.1. Peta Sebaran Batugamping Kabupaten Biak Numfor (PAG-GL, 2021)..	4-1
Gambar 4.2. Perbukitan karst kabupaten Biak Numfor, walaupun belum sempurna membentuk <i>conical hill</i> (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)	4-6
Gambar 4.3. Salah satu dolina di Kampung Sunde, Distrik Biak Timur yang dimanfaatkan sebagai lahan pertanian pada musim hujan (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)	4-7
Gambar 4.4. Uvala yang merupakan gabungan beberapa dolina di Kampung Dernafi, Distrik Biak Utara, dimanfaatkan sebagai lahan pertanian pada musim penghujan	4-7
Gambar 4.5. Mataair Warbon, Kampung Andei, Distrik Biak Utara yang digunakan oleh masyarakat sebagai sumber air bersih sehari-hari (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)	4-8
Gambar 4.6. Salah satu contoh gua kering yang berada di Kampung Andei, Distrik Biak Utara (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)	4-8
Gambar 4.7. Kombinasi antara gua vertikal dan horizontal di Gua Binsari yang menjadi benteng pertahanan Tentara Jepang pada saat Perang Dunia II (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)	4-9
Gambar 4.8. Mulut Gua Kalibiru, merupakan gua yang mempunyai hubungan dengan keberadaan sungai bawah tanah dan tersambung dengan laut sehingga airnya tampak berwarna biru (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021).	4-10
Gambar 4.9. Outlet Sungai Bawah Tanah Parai digunakan sebagai sumber utama PDAM Kota Biak sisi timur (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021) ...	4-11
Gambar 4.10. Inlet Sungai Bawah Parai yang terdapat di daerah Mbefrikion, Kampung Sunde, Distrik Bioak Timur (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021).	4-11
Gambar 4.11. Outlet Sungai Bawah Tanah Kampung Sunde, Distrik Biak Timur (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)	4-12
Gambar 4.12. Peta Sebaran Eksokarst Kabupaten Biak Numfor (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)	4-12
Gambar 4.13. Peta Kawasan Bentang Alam Karst Kabupaten Biak Numfor Numfor (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)	4-15

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengertian Karst merupakan istilah dalam bahasa Jerman yang diturunkan dari bahasa Slovenia (kras) yang berarti lahan gersang berbatu. Istilah ini di negara asalnya sebenarnya tidak berkaitan dengan batugamping dan proses pelarutan, namun saat ini istilah kras telah diadopsi untuk istilah bentuklahan hasil proses pelarutan. Ford dan Williams (1989) mendefinisikan karst sebagai medan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik. Kawasan bentang alam karst adalah kawasan keunikan bentang alam dengan ciri eksokarst dan endokarst tertentu. Bentang alam karst terbentuk dari hasil pelarutan batuan karbonat dan dolomit yang kemudian mengalami proses pengangkatan sehingga muncul di permukaan membentuk perbukitan.

Indonesia memiliki kawasan karst yang luas sebarannya dengan kandungan fungsi strategis di dalamnya seperti fungsi estetika, fungsi ilmiah, dan fungsi hidrologis.

Pemanfaatan kawasan karst yang tidak terkendali akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan yaitu dengan hilangnya fungsi-fungsi strategis karst, baik fungsi estetika, fungsi ilmiah, maupun fungsi hidrologisnya.

Untuk mengendalikan pengembangan kawasan karst, Kementerian ESDM telah mengeluarkan Permen ESDM no.17 tahun 2012 tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst (KBAK). Dengan kriteria kawasan bentang alam karst pada permen ini bisa dibedakan mana karst yang harus dilindungi dan mana karst yang bisa dibudi daya. Berdasarkan permen tersebut kawasan bentang alam karst ditetapkan oleh Menteri ESDM.

Berkenaan dengan hal tersebut di atas, Badan Geologi melalui Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan sebagai salah satu unit dari KESDM berkewajiban melakukan evaluasi/verifikasi terhadap usulan penetapan kawasan bentang alam karst dari daerah dalam hal ini Pemerintahan Kabupaten Manggarai Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Kegiatan evaluasi/verifikasi ini merupakan

kegiatan yang dibiayai oleh Anggaran Biaya Murni dari DIPA Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan TA. 2021 Nomor DIPA : 020.13.1.579166/2021 tertanggal 23 November 2020 dengan Nomor MAK : 020.13.FE.6346.PBS.413.051.A.524111.

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari evaluasi kawasan bentang alam karst ini adalah untuk mengevaluasi keberadaan eksokarst dan endokarst tertentu yang merupakan kriteria untuk menetapkan suatu kawasan bentang alam karst sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM no.17 tahun 2012 tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst (KBAK).

Adapun tujuannya adalah untuk memastikan kawasan karst yang memenuhi kriteria KBAK dan dapat diusulkan untuk ditetapkan sebagai KBAK.

1.3. Sasaran

Sasaran yang diharapkan dapat dicapai dari hasil kegiatan verifikasi ini adalah :

- a. Dapat menerapkan kriteria sesuai dengan Permen ESDM no.17 tahun 2012 tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst dalam mengevaluasi Kawasan Bentang Alam Karst di Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua.
- b. Menyamakan persepsi antara Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dengan Pemerintah Kabupaten/Provinsi terkait perlunya penetapan Kawasan Bentang Alam Karst di daerahnya.

1.4. Luaran

Hasil yang dicapai dari kegiatan verifikasi terhadap usulan penetapan kawasan bentang alam karst ini adalah berupa laporan singkat yang berisi :

- a. Hasil verifikasi dokumen usulan penetapan KBAK.
- b. Hasil verifikasi tim verifikator beserta tim dari daerah di lapangan.
- c. Deliniasi akhir Kawasan Bentang Alam Karst yang akan diusulkan untuk ditetapkan oleh Menteri ESDM.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari hasil kegiatan verifikasi ini adalah :

- a. Mematangkan bahan penetapan Kawasan Bentang Alam Karst sebelum ditetapkan oleh Menteri ESDM.
- b. Menghindari terjadinya konflik kepentingan di antara berbagai pemangku kepentingan pasca penetapan Kawasan Bentang Alam Karst.

1.6. Personil Pelaksana

Personil yang melaksanakan kegiatan verifikasi usulan penetapan kawasan bentang alam karst ini adalah sebagai berikut :

- | | |
|----------------------------|----------------|
| 1. Aris Dwi Nugroho, ST | (Ketua Tim) |
| 2. Ir. Aminuddin, M.Si | (Anggota Tim) |
| 3. Endrik Susanto, ST | (Anggota Tim) |
| 4. Wawan | (Anggota Tim) |
| 5. Ir. Oki Oktariadi, M.Si | (Tim Inspeksi) |
| 6. Farizal Arief | (Tim Inspeksi) |

1.7. Waktu Pelaksanaan

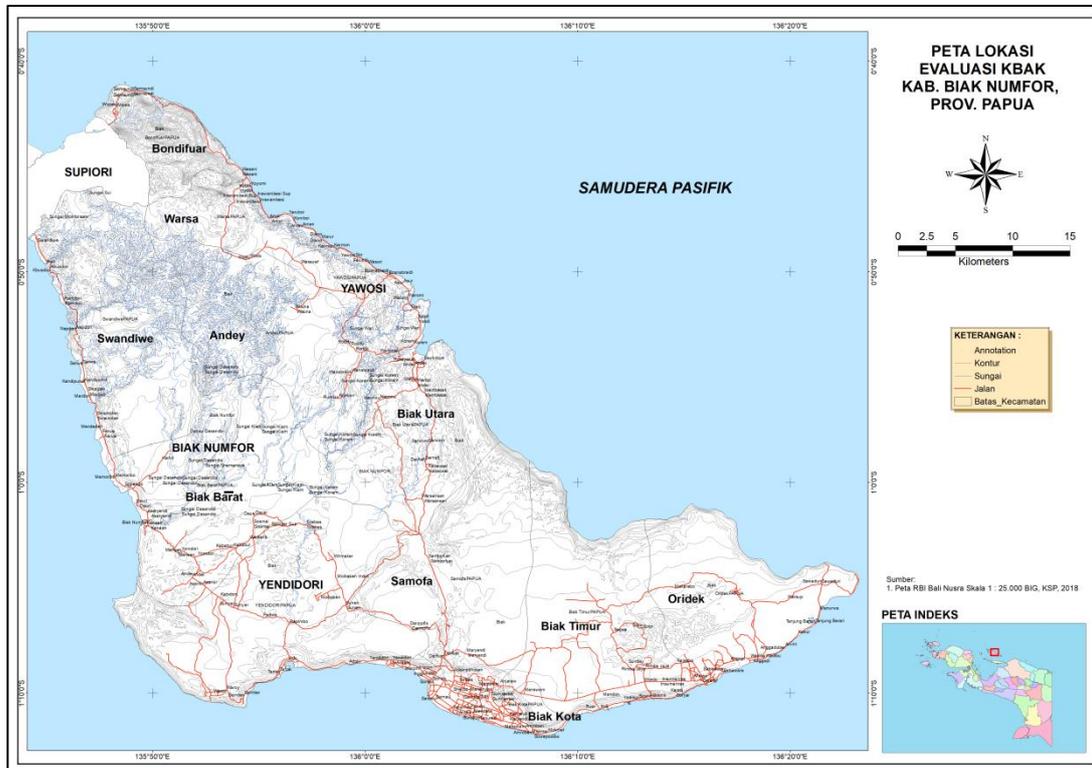
Waktu yang diperlukan dalam kegiatan verifikasi usulan penetapan kawasan bentang alam karst ini adalah sebagai berikut :

- | | |
|---|-----------|
| - Penelaahan dokumen usulan penetapan KBAK | : 10 hari |
| - Verifikasi lapangan | : 8 hari |
| - Pembahasan usulan KBAK internal Tim Verifikator | : 20 hari |
| - Pembahasan usulan KBAK antara Tim Verifikator dengan daerah | : 10 hari |
| - Pembuatan laporan | : 30 hari |

Kegiatan lapangan verifikasi Kawasan Bentang Alam Karst Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua dilaksanakan pada tanggal 10-17 Maret 2021.

1.8. Lokasi

Kegiatan Evaluasi Kawasan Bentang Alam Karst Biak Numfor, yang secara administratif berada di wilayah Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua. (Gambar 1.)



Gambar 1.1. Peta Lokasi Evaluasi KBK Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua

BAB II

METODOLOGI DAN PERALATAN

Kegiatan evaluasi usulan penetapan kawasan bentang alam karst ini dapat dibagi beberapa tahapan sebagai berikut :

2.1. Metodologi

a. Penelaahan Usulan Penetapan KBAK

Penelaahan dilakukan terhadap dokumen teknis pengusulan KBAK yang meliputi :

- Kondisi geologi (geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi).
- Kondisi hidrogeologi.
- Penelaahan citra setelit.
- Keberadaan eksokarst.
- Keberadaan endokarst.
- Peta deliniasi usulan penetapan KBAK.

b. Verifikasi Lapangan

Kegiatan verifikasi lapangan yang dilakukan oleh tim evaluator dilapangan meliputi :

- Sebaran formasi batu gamping.
- Sebaran eksokarst dan endokarst.
- Batas deliniasi dengan mempertimbangkan keberadaan kriteria eksokarst dan endokarst tertentu.
- Kegiatan budi daya eksisting pada daerah sebaran batu gamping (pertambangan, permukiman, dan lain sebagainya).

c. Pembahasan Usulan Penetapan KBAK dan Hasil Verifikasi Lapangan

Kegiatan pembahasan usulan penetapan KBAK dan hasil verifikasi lapangan dilakukan tim evaluator untuk menentukan penarikan deliniasi KBAK dilakukan dengan mempertimbangkan keberadaan kriteria eksokarst dan endokarst

sesuai dengan amanat dari Peraturan Menteri ESDM no.17 tahun 2012 dan kegiatan eksisting pada kawasan karst tersebut.

d. Penyusunan Laporan

Data hasil evaluasi, data sekunder yang terkait dianalisis, didiskusikan, dan disusun dalam bentuk laporan singkat yang dilampiri peta-peta terkait.

2.2. Bahan dan Peralatan

Pada kegiatan verifikasi lapangan ini digunakan bahan dan peralatan yang diperlukan sebagai berikut :

- Peta dasar berupa peta Rupa Bumi Indonesia Daerah Biak dan sekitarnya berskala 1 : 25.000
- Peta Geologi Lembar Biak, Papua skala 1 : 250.000
- GPS Garmin Montana 680
- Palu Geologi
- Kompas Geologi merk Brunton
- Kamera
- Multi Parameter Water
- pH meter
- DHL dan EC meter
- Kantong sampel
- Alat tulis

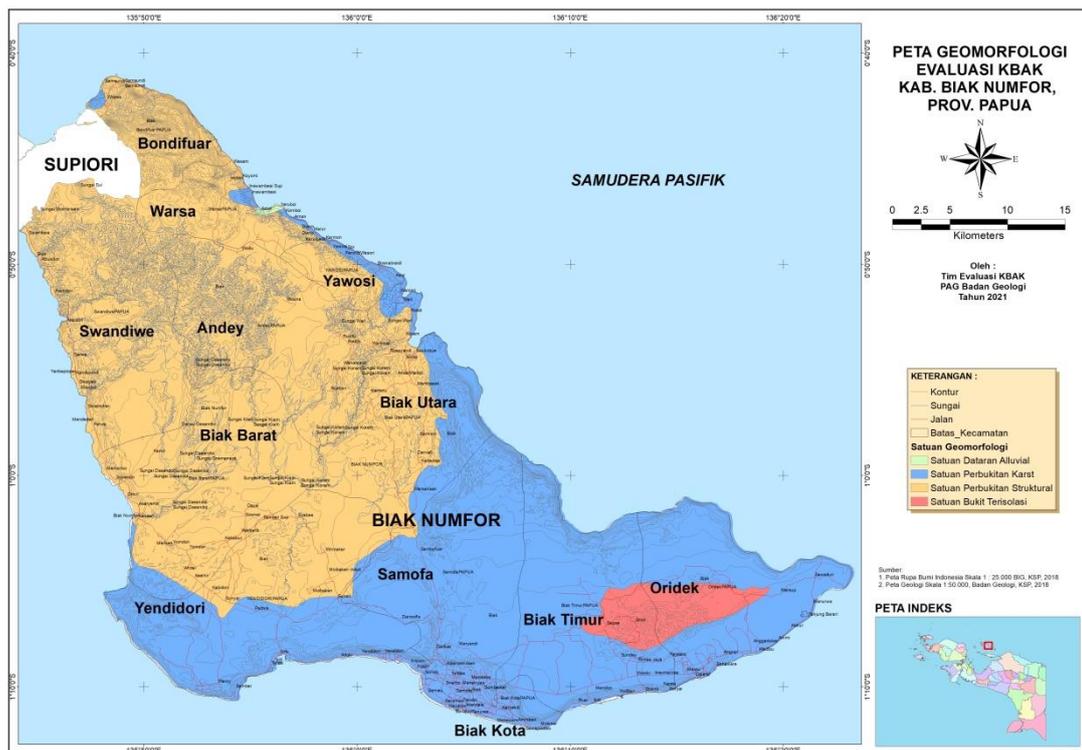
BAB III

TATANAN GEOLOGI

KABUPATEN BIAK NUMFOR, PROVINSI PAPUA

Proses geologi yang terjadi pada kawasan karst di daerah karst Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua diantaranya ialah pelapukan, pelarutan, erosi, pengendapan hasil erosi, pembatuan, pengangkatan, pelipatan dan pensesaran. Proses ini menyebabkan terbentuknya bentang alam karst pada batuan karbonat yang bentuknya sangat khas, berupa bukit, lembah, telaga, dolina, polje, ponor, sungai bawah tanah dan gua berikut ornamen-ornamen/speleotem yang ada didalamnya.

3.1 Geomorfologi



Gambar 3.1. Peta Geomorfologi Kabupaten Biak Numfor

Geomorfologi adalah disiplin ilmu yang mempelajari tentang bentuk-bentuk muka bumi yang terjadi karena kekuatan-kekuatan yang bekerja baik yang ada di dalam bumi ataupun kekuatan yang berasal dari luar bumi. Daratan merupakan pokok kajian utama di dalam studi geomorfologi. Secara luas berhubungan dengan

landform (bentuk lahan) tererosi dari batuan yang keras, namun bentuk konstruksinya dibentuk oleh runtuhannya, dan terkadang oleh perilaku organisme di tempat mereka hidup. "Surface" (permukaan) jangan diartikan secara sempit, harus termasuk juga bagian kulit bumi yang paling jauh. Kenampakan subsurface terutama di daerah batugamping sangat penting dimana sistem gua terbentuk dan merupakan bagian yang integral dari geomorfologi.

Geomorfologi merupakan gambaran bentuk wilayah (morfologi), batuan dan proses pembentukan morfologinya sendiri. Satuan geomorfologi diketahui melalui tumpang susun peta topografi dengan peta geologi. Melalui metoda tersebut geomorfologi daerah pemetaan berdasarkan genesanya dibedakan menjadi 3 satuan, yaitu:

3.1.1. Satuan Dataran Alluvial

Satuan dataran Alluvial berada di bagian selatan dan utara Kabupaten Biak Numfor dengan pelamparan sekitar 2,69%. Satuan ini berbatasan dengan satuan morfologi perbukitan karst dengan kemiringan lereng kurang dari 2°. Pola aliran sungainya bertipe dendritik, dengan tipe aliran sungai *ephemeral* dan sebagian berasal pengaliran air bawah tanah yang berkembang di perbukitan karst. Tata guna lahan sebagian besar berupa pemukiman, sebagian lagi berupa belukar dan hutan.



Gambar 3.2. Morfologi dataran kipas aluvial di Biak Kota (dilihat dari udara)

Lithologi pada dataran alluvial berupa material hasil rombakan dari perbukitan kars berupa pasir, lempung, kerikil, dan kerakal yang bersifat

karbonatan pada bagian atas. Ketebalannya hanya sekitar 0,5 – 2 meter, sedangkan pada bagian bawahnya berupa batugamping dengan jenis batugamping terumbu dan batugamping berfosil.

3.1.2. Satuan Perbukitan Karst

Satuan Perbukitan Karst memiliki pelamparan paling dominan, yaitu sekitar 93,42 % dari wilayah lokasi pemetaan. Berdasarkan klasifikasi kemiringan lereng menurut Van Zuidam (1985), satuan perbukitan karst memiliki klasifikasi agak curam – curam pada bagian tengah ($14,04^{\circ}$ - $36,9^{\circ}$) sedangkan pada beberapa tempat yang berbatasan dengan laut termasuk sangat curam- terjal ($45,1^{\circ}$ - $72,89^{\circ}$). Tata guna lahan sebagian besar berupa hutan dan belukar, sedangkan sebaran pemukiman terbatas pada pinggir pantai dan sekitar akses jalan utama.



Gambar 3.3. Morfologi Perbukitan Karst Kabupaten Biak Numfor

Batuan yang menyusun satuan perbukitan karst dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu :

- i. Batugamping terumbu dan batugamping berfosil.
Penyebaran litologi ini berada di Distrik Biak Timur, Oridek, Biak Kota, sebagian Biak Utara dan Yendidori. Morfologi yang khas pada kelompok litologi ini adalah proses karstifikasi yang masih berjalan sehingga pada beberapa tempat dijumpai goa, kerucut kars, tipe aliran bersifat *intermittent* dan dijumpai beberapa sungai bawah tanah.
- ii. Batugamping dan napal gampingan.
Penyebaran litologi sebagian besar berada di Distrik Biak Utara, sebagian lagi di Yawosi, Warsa, dan Andey. Morfologi pada litologi ini menunjukkan

proses karstifikasi yang kurang intensif dibandingkan pada kelompok satu. Sungai menunjukkan tipe aliran yang permanen dengan dimensi lebar hingga sekitar 35 m. Pola aliran bertipe dendritik dengan arah aliran relatif Timur Laut-Barat Daya. Tekstur klastik yang dijumpai pada litologi batugamping menunjukkan genesa dari kelompok ini diperkirakan merupakan hasil sedimentasi.

iii. Batugamping berlapis dan napal gampingan.

Penyebaran litologi batugamping berlapis dan napal gampingan berada di Distrik Biak Barat, Swandiwe, sebagian Yendidori, sebagian Kabupaten Supiori (Syurdori dan Sorindiweri). Kelompok litologi ini memiliki morfologi yang mirip dengan kelompok litologi batugamping dan napal gampingan hanya saja unsur energi sedimentasinya diperkirakan lebih besar. Kelompok ini sebagian besar menunjukkan tekstur klastik dengan ukuran butir pasir sedang-kasar atau dapat disebut sebagai batugamping kalkarenit. Ciri khas kelompok ini adalah batugampingnya memiliki struktur perlapisan yang tidak dijumpai pada kelompok yang lain.

3.1.3. Satuan Perbukitan Karst Struktural



Gambar 3.4. Morfologi perbukitan kars struktural di Bondifuar

Satuan perbukitan karst struktural (Gambar 11.3) memiliki pelampanan seluas 3,89 % dari lokasi pemetaan. Satuan ini memiliki kemiringan lereng antara $36,89^{\circ}$ – $74,38^{\circ}$ dan termasuk dalam klasifikasi sangat curam-terjal menurut Van Zuidam (1985). Penyebaran satuan ini meliputi Distrik Bondifuar, sebagian Warsa, dan Yawosi. Kelurusan-kelurusan yang

terlihat pada peta topografi terlihat jelas di lapangan yang diperkirakan terbentuk karena proses tektonik yang kuat. Hal ini diperkuat oleh kondisi kelerengan yang cukup terjal. Berdasarkan peta geologi regional (Masria dkk, 1981), struktur geologi yang berkembang berupa patahan yang relatif berarah Barat Laut-Tenggara. Pola aliran bersifat *intermitten* dengan tata guna lahan sebagian besar berupa hutan dan belukar.

Litologi pada satuan ini berupa batugamping masif, batugamping berlapis, dan napal gampingan. Kars pada satuan ini kurang berkembang karena merupakan hasil sedimentasi dengan penciri tekstur klastik dan bercampur dengan napal gampingan.

3.2 Stratigrafi

Berdasarkan peta geologi regional Lembar Biak (Masria dkk, 1981), stratigrafi di daerah pemetaan mulai dari Eosen hingga Holosen adalah sebagai berikut.

1. Formasi Auwewa.
2. Formasi Wainukendi (Tomw).
3. Formasi Wafordori (Tmw).
4. Formasi Napisendi (Tmn).
5. Formasi Korem (Tmk).
6. Formasi Wardo (Tmpw).
7. Formasi Mokmer (Qm).
8. Endapan Pantai (Qc).

3.2.1 Formasi Auwewa

Formasi Auwewa terdiri atas lava basalt, tufa, litik, tufa hablur, setempat breksi dan andesit-basalt. Formasi Auwewa ditindih tidak selaras dengan batuan yang lebih muda. Umur Formasi Auwewa diperkirakan Oligosen Awal atau Eosen (Masria dkk, 1981).

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, Formasi Auwewa dijumpai pada daerah Rimba Jaya, Distrik Biak Timur. Singkapan yang dijumpai berupa intrusi breksi andesit-basalt berwarna abu-abu kehijauan, tekstur afanitik, struktur masif, terdapat milonitisasi dan diskontinuitas relatif rapat berupa kekar-kekar, terdiri dari mineral serpentin, hornblende, piroksen. Serpentinisasi breksi andesit-basalt diperkirakan hasil proses

tektonik yang dicirikan oleh zona hancuran dan sebagian menunjukkan gores garis dengan kilap kaca (Gambar 3.4). Berdasarkan pengamatan singkapan, breksi andesit-basalt diperkirakan telah mengalami proses metamorfosis menjadi serpentinit yang secara genesa termasuk dalam kategori metamorfosa kontak tingkat rendah dalam Woods K.M. (2009).



Gambar 3.5. Singkapan Serpentinit di Biak Timur

3.2.2 Formasi Wainukendi (Tomw)

Formasi Wainukendi terdiri atas batugamping hablur, napal, batugamping berfosil banyak, greywacke, setempat lensa konglomerat basalt. Formasi ini diendapkan tidak selaras dengan Formasi Auwewa dan diendapkan selaras atau bisa juga menjemari dengan Formasi Wafordori. Formasi Wainukendi berumur Oligosen Akhir sampai Miosen Awal (Masriadkk, 1981).



Gambar 3.6. Singkapan batugamping kapuran dan batugamping napalan

Berdasarkan hasil pengamatan singkapan di Distrik Bondifuar dan Warsa, Formasi ini menunjukkan morfologi dengan kemiringan lereng sangat curam hingga terjal yang tersusun atas batugamping napalan, dan batugamping kapuran. Pada sebagian tempat, terlihat struktur perlapisan dengan arah jurus sekitar $N104^{\circ}E - N166^{\circ}E$, kemiringan lapisan batuan antara $4^{\circ} - 16^{\circ}$ dan terdapat sisipan tipis batugamping kristalin sekitar 3 cm (Gambar 3.6).



Gambar 3.7. Batugamping kapuran Formasi Wainukendi (Tomw)



Gambar 3.8. Batugamping napalan Formasi Wainukendi (Tomw)

Batugamping pasiran berwarna putih (warna lapuk coklat), tekstur klastik, struktur berlapis (sebagian tidak terlihat bidang perlapisan/masif), terdapat pecahan cangkang koral, moluska dan *pelecypoda* (1 – 3 mm) pada masa dasar kapur berukuran pasir sedang-kasar dengan komposisi utama berupa mineral karbonat (Gambar 3.7). Batugamping napalan berwarna coklat kehijauan (warna lapuk coklat tua), tekstur klastik, struktur berlapis (sebagian tidak terlihat bidang perlapisan/masif), terdapat pecahan cangkang koral, moluska dan *pelecypoda* (1–3 mm) pada masa dasar kapur berukuran lempung - lanau dengan komposisi utama berupa mineral lempung karbonatan (Gambar 3.8).

3.2.3 Formasi Wafordori (Tmw)

Formasi Wafordori terdiri atas napal, batupasir dan sisipan batugamping hablur. Formasi ini ditindih selaras dengan Formasi Napisendi. Formasi Wafordori berumur Miosen Awal (Masria dkk, 1981).

Berdasarkan pengamatan singkapan di Daerah Inobe Distrik Warsa, Batugamping pasiran berwarna putih (warna lapuk coklat), tekstur klastik, struktur masif, terdapat fragmen *pelecypoda* (2 cm) pada masadasar kapur ukuran pasir sedang-kasar, dengan komposisi utama mineral berupa karbonat (Gambar 3.9).

3.2.4 Formasi Napisendi (Tmn)



Gambar 3.9. Batugamping pasiran Formasi Wafordori (Tmw)

Formasi Napisendi terdiri atas batugamping berlapis, batugamping klastik tufaan, sisipan konglomerat andesit-basalt, breksi batugamping *lepidocyclina*, batugamping pasiran, napal pasiran, dan batupasir. Formasi ini diendapkan tidak selaras di bawah Formasi Korem dengan umur Miosen Awal (Masria dkk, 1981).

Berdasarkan pengamatan di lokasi pemetaan, singkapan batugamping pasiran dan napal pasiran dijumpai di Distrik Bondifuar dan Swandiwei Kabupaten Supiori. Singkapan batuan ini terlihat memiliki tekstur klastik dan struktur berlapis dengan arah jurus dan kemiringan lapisan batuan sekitar

N35°E/20°.

Batugamping pasiran berwarna putih (warna lapuk coklat kekuningan), tekstur klastik, struktur berlapis, terdapat pecahan fragmen koral hingga 40 cm, masadasar kapur ukuran pasir kasar dengan komposisi mineral karbonat (Gambar 3.10). Napal pasiran berwarna coklat kehijauan (warna lapukan coklat tua), tekstur klastik, struktur berlapis, pada masadasar bersifat karbonatan berukuran lempung-pasir halus (Gambar 3.11).



Gambar 3.10. Batugamping pasiran Formasi Napisendi (*Tmn*)



Gambar 3.11. Napal pasir Formasi Napisendi (*Tmn*)

3.2.5 Formasi Korem (*Tmk*)

Formasi batupasir terdiri atas napal, napal kapuran, dan sisipan batugamping. Formasi ini berumur Miosen Akhir yang diendapkan tidak selaras dengan Formasi Wardo (Masria dkk, 1981).



Gambar 3.12. Singkapan Napal Formasi Korem (*Tmk*) di Air Terjun Wafarak, Distrik Biak Utara

Singkapan (Gambar 3.12) yang teramati di Distrik Yawosi dengan litologi berupa napal (Gambar 3.13) Formasi Korem berwarna abu-abu kehijauan, tekstur klastik, struktur berlapis dengan arah jurus dan kemiringan lapisan batuan sekitar $N15^{\circ}E/14^{\circ}$, pada masadasar berukuran lempung-

lanau bersifat karbonatan. Singkapan napal (Gambar 3.12) menunjukkan pembentukan *travertin* dan stalaktit. Proses ini diperkirakan disebabkan oleh air bersifat sadah (banyak mengandung unsur karbonat) akibat proses pelarutan batugamping pada formasi di atasnya.



Gambar 3.13. Napal Formasi Korem (*Tmk*)

3.2.6 Formasi Wardo (*Tmpw*)

Formasi Wardo terdiri atas batugamping napalan, dan pasiran disertai banyak foraminifera. Formasi Wardo berumur Miosen Awal hingga Pliosen yang diendapkan tidak selaras Formasi Mokmer (Masria dkk, 1981).



Gambar 3.14. Singkapan Napal gampingan Formasi Wardo (*Tmpw*)

Singkapan yang dijumpai di lapangan berupa napal gampingan dan batugamping pasiran. Napal gampingan (Gambar 3.14) yang dijumpai di

Daerah Upuri Distrik Biak Barat berwarna abu-abu (warna lapuk coklat tua), tekstur klastik, struktur masif, massa dasar berukuran lempung dan terdapat fosil *foraminifera* berwarna putih.



Gambar 3.15. Singkapan Batugamping pasiran Formasi Wardo (*Tmpw*)

Batugamping pasiran (Gambar 3.15) dijumpai sepanjang Distrik Biak Barat yang berwarna putih (warna lapukan coklat kekuningan), tekstur klastik, struktur berlapis, sementasi buruk, kemas terbuka, terdapat fosil *pelecypoda*, moluska hingga 4 cm, massa dasar berupa kapur berukuran pasir sedang-kasar, komposisi terdiri dari mineral karbonat seperti kalsit dan dolomit. Pola perlapisan pada formasi ini bervariasi dan diperkirakan karena proses tektonik sehingga terjadi proses pensesaran.

3.2.7 Formasi Mokmer (*Qm*)

Formasi Mokmer terdiri atas batugamping koral dan kapur. Formasi ini berumur Plistosen hingga Holosen (Masria dkk, 1981). Berdasarkan pengamatan di lokasi pemetaan, singkapan batugamping koral dan kapur banyak dijumpai di Kota Biak, Distrik Biak Timur, Oridek dan Yendidori.

Batugamping koral (Gambar 3.16) berwarna putih (warna lapukan hitam), tekstur nonklastik, terdapat struktur pertumbuhan, fragmen terdiri dari koral dan sebagian terlihat moluska dan *pelecypoda* (2-8 cm), komposisi mineral berupa kalsit dan dolomit. Kapur (Gambar 3.17) berwarna putih (warna lapukan coklat kehitaman), tekstur klastik, struktur masif, sementasi

buruk, kemas terbuka, terdapat pecahan fosil moluska dan *pelecypoda* hingga 3 cm, terdiri dari mineral karbonat berukuran pasir lanau-pasir halus.



Gambar 3.16. Singkapan Batugamping koral Formasi Mokmer (Qm)



Gambar 3.17. Singkapan batugamping kapur Formasi Mokmer (Qm)

3.2.8 Endapan Pantai (Qc)

Endapan pantai terdiri atas lumpur, pasir, kerikil yang belum mampat yang berumur Holosen (Masria dkk, 1981). Penyebaran endapan pantai terbatas di Biak Kota, Distrik Korem, dan Bondifuar. Pada umumnya jenis

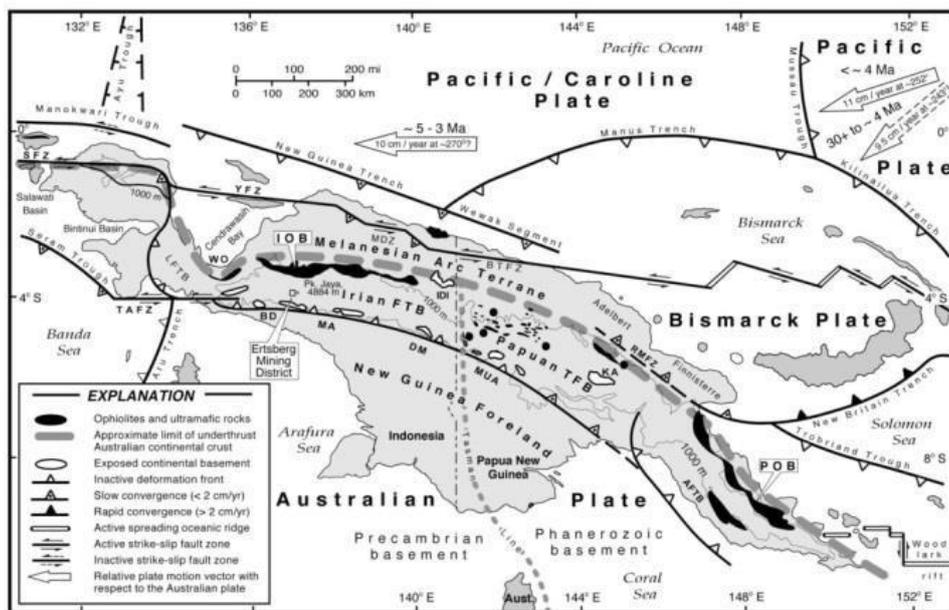
endapan pantai yang dominan berupa campuran antara pasir dan kerikil (Gambar II.18).



Gambar 3.18. Satuan Endapan Pantai (Qc)

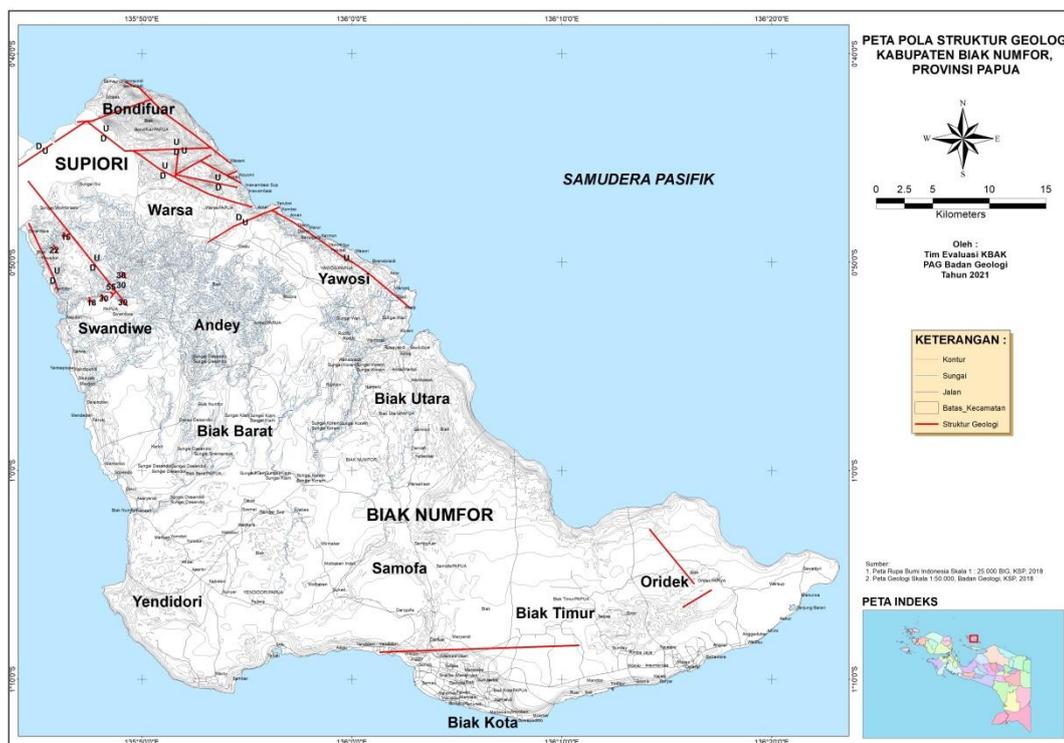
3.3. Struktur Geologi

Sejarah tektonik Pulau Biak merupakan kesatuan dengan Pulau Supiori (Masria dkk., 1981). Menurut Masria dkk. (1981), sejarah tektonik diawali Pra Eosen yang menyebabkan batuan malihan tersingkap di permukaan dan kemudian disertai aktivitas gunungapi hingga Oligosen. Peristiwa tersebut disertai dengan pelekukan sehingga memudahkan dalam proses pengendapan karbonat.



Gambar 3.19. Peta Struktur Regional Pulau Biak

Struktur geologi regional yang berkembang antara lain berupa perlipatan, sesar dan kekar. Satuan batuan yang mengalami pengaruh tektonik antara lain batuan sedimen Pra-Tersier (Batuan Malihan Korido). Perlipatan pada batuan tersebut terbentuk oleh adanya tekanan horizontal pada kala Miosen Akhir-Pliosen. Disamping produk tektonik berupa lipatan dan patahan, terbentuk juga daerah-daerah cekungan yang berkembang sebagai akibat gaya extension dari aktivitas patahan bersistem left lateral slip fault NE-SW yang menyebabkan pembentukan Basin Salawati, Bintuni, dan Akimeugah. Pensesaran didaerah penyelidikan terdiri atas sesar naik hingga sungkup, sesar normal, dan sesar geser.



Gambar 3.20. Peta Pola Struktur Geologi Kabupaten Biak Numfor

Struktur geologi di daerah pemetaan secara umum berupa sesar yang dapat diindikasikan dari kelurusan berdasarkan peta topografi maupun bukti otentik di lapangan. Masria dkk. (1981) telah menyebutkan bahwa selama Oligosen Akhir hingga Miosen Awal terjadi penurunan di seluruh Pulau Biak- Supiori kemudian pada Miosen Tengah terjadi pensesaran relatif Barat Laut- Tenggara dan Barat Daya-Timur Laut. yang salah satunya membentuk selat Sorendidori. Penarikan kelurusan yang ditafsirkan sebagai struktur geologi dalam Masria dkk. (1981) sangat terlihat jelas perbedaan morfologinya di lapangan akan tetapi bukti fisik

lain yang mengindikasikan patahan hanya ditemukan beberapa tempat. Bukti fisik yang menguatkan adanya patahan selain dari morfologi adalah posisi bidang perlapisan dan kenampakan *offset*.

Berdasarkan pengamatan pola arah jurus dan kemiringan lapisan batuan di lokasi pemetaan, dugaan terhadap sesar dijumpai di dekat Teluk Sorindiweri (Sesar Sorindiweri), Yomdori Distrik Biak Barat (Sesar Yomdori) dan Waroi (Sesar Waroi) distrik Yendidori dengan arah Barat Daya – Timur Laut. Modifikasi pada peta geologi Masria dkk (1981) berupa struktur geologi yang meliputi penambahan sesar dan perlapisan batuan pada Formasi Wardo dan Mokmer.

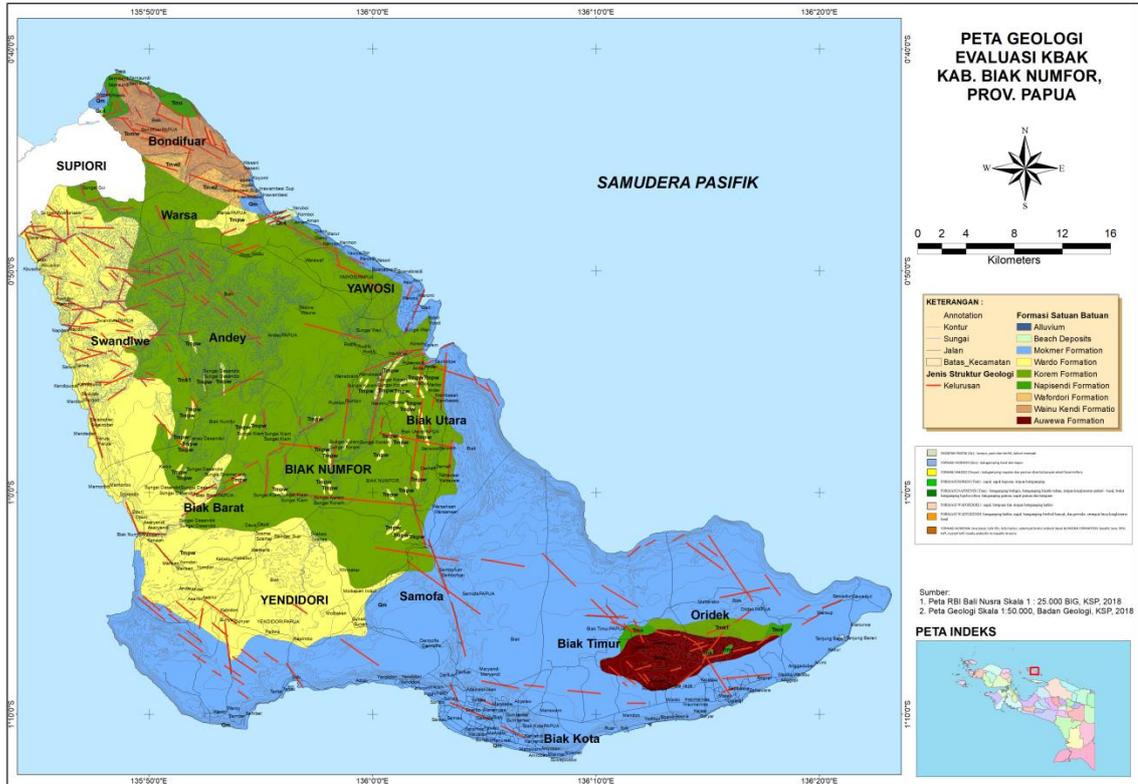
Indikasi sesar Sorindiweri ditunjukkan oleh perbedaaan arah bidang perlapisan pada batugamping pasiran akan tetapi bukti *offset* belum dijumpai. Keberadaan sesar Sorindiweri diperkuat oleh pola kelurusan yang ditafsirkan oleh Masria dkk. (1981). Sesar Yomdori diindikasikan dengan perubahan pola bidang perlapisan walaupun dari segi morfologi tidak menunjukkan bentukan yang khas produk patahan. Sesar waroi memiliki indikasi patahan yang tegas berupa bidang sesar. Indikasi fisik berupa *offset* sekitar 10 cm dan *drag folds* pada lapisan batugamping pasiran. Proses pensesaran diperkirakan melibatkan dua fase. Fase pertama merupakan fase kompresi yang menghasilkan sesar naik dengan indikasi *drag fold* dengan *offset* 35 cm Fase kedua merupakan fase *release* yang menghasilkan sesar turun dengan *offset* 10 cm.



Gambar 3.21. Indikasi sesar turun Sesar Waroi

Proses pengangkatan diperkirakan juga terekam di Rimba Jaya, Distrik Oridek berupa breksi andesit-basalt Formasi Auwewa yang mengalami proses

metamorfosis. Menurut Tjia (1975) dalam Masria dkk. (1981), aktivitas penurunan berlangsung hingga Miosen Akhir dan kemudian terjadi pengangkatan hingga Holosen sebesar 8 mm



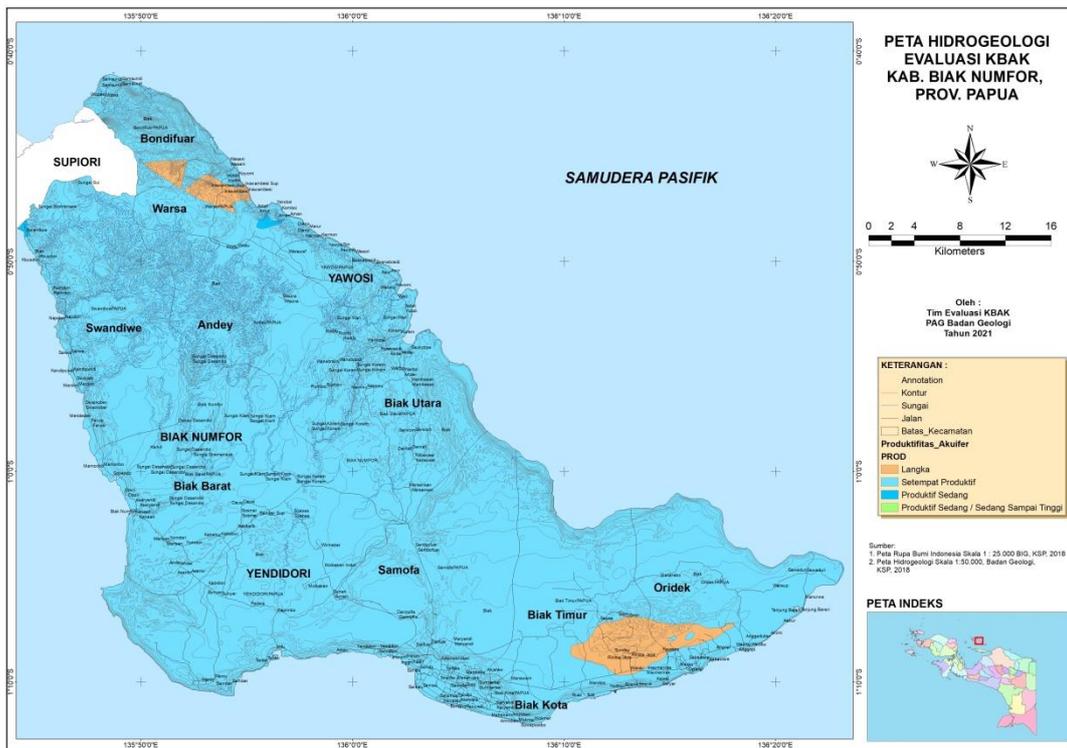
Gambar 3.22. Peta Geologi Kabupaten Biak Numfor

3.4. Hidrogeologi

Air Bawah tanah merupakan salah satu komponen dalam daur hidrologi (*hydrologic cycle*) yang berlangsung di alam. Sumber air ini terbentuk dari air yang meresap ke dalam daerah imbuhan (*recharge area*) dan mengalir melalui lapisan batuan, terutama lapisan pembawa air (*akuifer*) dalam cekungan air bawah tanah (*groundwater basin*) yang berada dibawah permukaan tanah menuju ke daerah lepasan (*discharge area*). Dari proses ini dapat dipahami bahwa keterdapatan air bawah tanah berkaitan erat dengan kondisi dan komposisi lingkungan lainnya, seperti : iklim, geologi (tanah dan batuan) serta vegetasi.

Berdasarkan proses tersebut, air bawah tanah dapat digolongkan sebagai sumber daya alam yang dapat diperbaharui (*renewable resources*), sehingga meskipun terus mengalir selama kondisi lingkungan tidak mengalami kerusakan, maka ketersediaannya akan dapat terus terjamin. Namun karena proses pembentukannya memerlukan waktu yang lama, bahkan bisa memerlukan ratusan

atau ribuan tahun, maka apabila terjadi kerusakan air bawah tanah, pemulihannya akan sulit dilakukan dan memerlukan biaya yang sangat tinggi.



Gambar 3.23. Peta Hidrogeologi Kabupaten Biak Numfor

Batu gamping koral dari Formasi Mokmer merupakan akuifer utama yang mendominasi hidrogeologi di daerah penelitian, sementara aluvium endapan pantai dijumpai dalam luasan yang sempit (Gambar 2 dan 3).

Morfologi permukaannya dicirikan oleh bukit-bukit kecil dengan permukaan kasar. Dijumpai gawir terjal memanjang di sekitar pantai yang diduga sebagai bagian dari undak pantai. Goa sebagai porositas sekunder ditemukan di permukaan maupun pinggir pantai dengan dimensi lebar dan tinggi bervariasi antara 1 - 3 m. Aliran air tanah melalui goa atau pun rongga hasil pelarutan yang mengalir ke laut ditemukan di pinggir pantai dan muncul sebagai mata air (Gambar 3). Mata air tersebut termasuk pada kelompok mata air karst (karst springs), dan karena posisinya mata air tersebut merupakan bagian dari keluaran air tanah lepas pantai (KALP). Setidaknya terdapat sembilan mata air pinggir pantai dengan debit sesaat bervariasi dari 0,04 – 10,7 l/det. Berdasarkan pengamatan selama tiga hari dari tanggal 19 s/d 21 September 2013, diperoleh titik posisi keluarnya mata air selalu berpindah-pindah seiring dengan pasang dan surut laut. Ketika pasang pada jam 7.00 – 8.00 WIT, air laut naik akan menekan aliran air tanah dari darat,

sehingga mata air yang keluar lebih menjorok ke arah daratan. Posisi tersebut berubah ketika surut pada pukul 12.00 – 13.00 WIT., mata air akan muncul di bagian bawah pantai yang lebih menjorok ke arah laut. Posisi tersebut berulang dan berpindah sesuai dengan tingkat pasang surut laut. Pergeseran keluaranya posisi mata air secara lateral bisa mencapai kisaran 1,5 m dari posisi awalnya.

Di atas akuifer batu gamping koral terdapat endapan pantai berupa pasir lepas. Aluvium dijumpai di daerah rendahan pinggir pantai, sebagai bagian dari material lapukan dari batuan yang lebih tua yang didominasi material batu gamping. Air tanah bebas pada endapan pantai di lokasi penelitian umumnya relatif lebih tawar bila dibandingkan dengan air tanah pada akuifer batu gamping koral. Demikian juga permukaan air tanahnya relatif lebih dangkal, yaitu kurang dari 2 m dari permukaan tanah setempat (mts). Sementara permukaan air tanah pada akuifer batu gamping koral lebih dari 5 m dari mts. Di daerah endapan pantai, umumnya pengaruh pasang surut air laut pada air tanah sangat kecil. Tercermin dengan daya hantar listrik (DHL) air tanah $< 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Gambar 2.) yang menurut Hem (1989) setara dengan total zat padat terlarut (TDS) $\sim 590 \text{ mg/l}$ yang didasarkan atas formula $\text{TDS (mg/l)} = 0,59 \text{ DHL}(\mu\text{S}/\text{cm})$. Kondisi ini diduga karena pemompaan air tanah belum terlalu intensif karena air tanah hanya dipakai untuk kebutuhan air rumah tangga. Juga kemungkinan akibat adanya blocking dari tembok penahan abrasi air laut yang terdapat di sepanjang bibir pantai, sehingga air laut tidak memengaruhi sistem air tanah bebas pada akuifer aluvium. Namun demikian, secara lokal terdapat air tanah yang terpengaruh pasang dan surut laut di dekat pinggir pantai pada posisi 5 m dari laut, DHL air tanah mencapai $7500 \mu\text{S}/\text{cm}$ ($\text{TDS} = \sim 4425 \text{ mg/l}$).

Secara umum kondisi air bawah tanah Kabupaten Biak Numfor dapat dipisahkan menjadi 2 sistem akuifer (Gambar 3.2), yaitu :

- Daerah dengan aliran melalui rekahan, celahan, dan saluran, Akuifer Produktifitas Sedang. Akuifer ini meliputi satuan batuan batugamping dengan warna di peta biru muda.
- Akuifer bercelah atau sarang, Akuifer Produktifitas Kecil, Setempat berarti. Dominan di satuan batuan vulkanik (Formasi Auwewa dan Formasi Wainu Kendi) dengan warna di peta coklat muda.

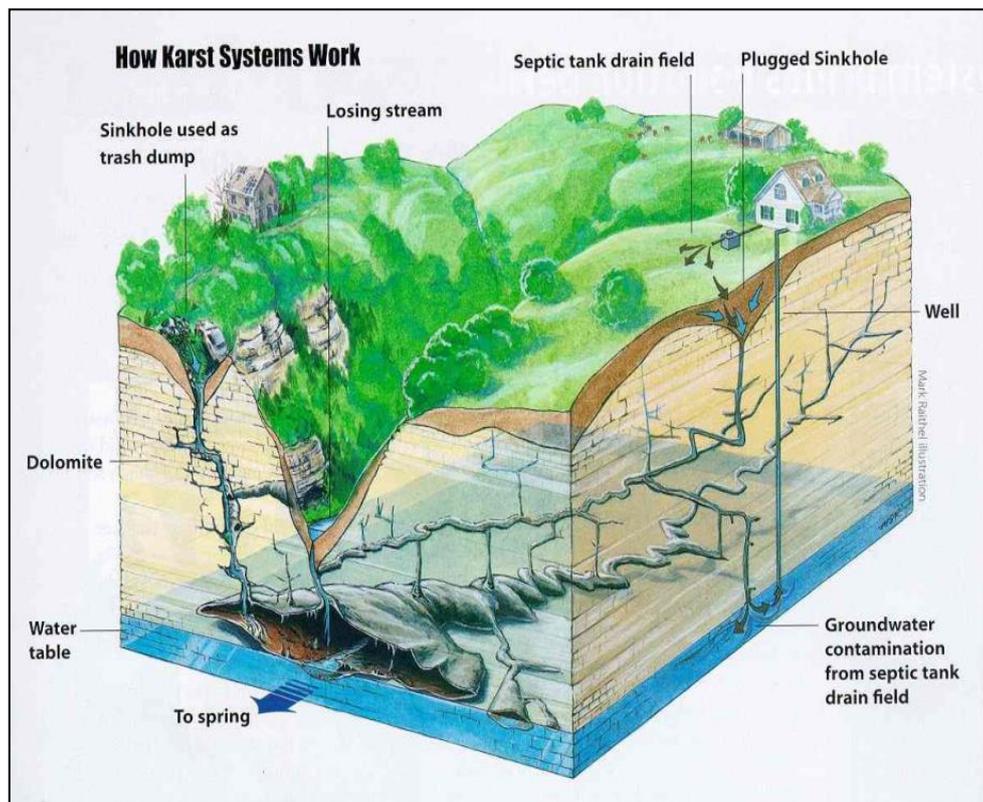
Mataair yang terdapat di Kawasan Karst Kabupaten Biak merupakan sumber air bagi masyarakat sekitar. Selain itu terdapat sungai bawah tanah yang biasa

digunakan sebagai sumber air baku bagi masyarakat, khususnya Sungai Bawah Tanah Parai yang dijadikan sumber PDAM Kota Biak sisi timur.

Munculnya air tanah ke permukaan selain dikontrol oleh tekanan hidrostatik juga dikontrol oleh sistem pelapisan batuan atau bidang lemah pada batuan seperti kelurusan, patahan, atau rekahan.

3.5. Sebaran Batugamping

Berdasarkan peta geologi lembar Pulau Biak, Papua yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Tahun 1981 dan disempurnakan dalam Kebijakan Satu Peta Badan Geologi KESDM Tahun 2018, sebaran batugamping yang ada di Kabupaten Biak Numfor meliputi beberapa distrik, antara lain : Distrik Biak Kota, Distrik Samofa, Distrik Yendidori, Distrik Biak Utara, Distrik Biak Timur dan Distrik Oridek. Masing-masing kawasan mempunyai ciri dan bentukan yang hampir sama, dengan bukit karst yang belum berkembang, uvala, dolina, mataair dan sungai bawah tanah. Kawasan ini didominasi oleh lithologi batugamping koral dan batugamping kapuran Formasi Mokmer.



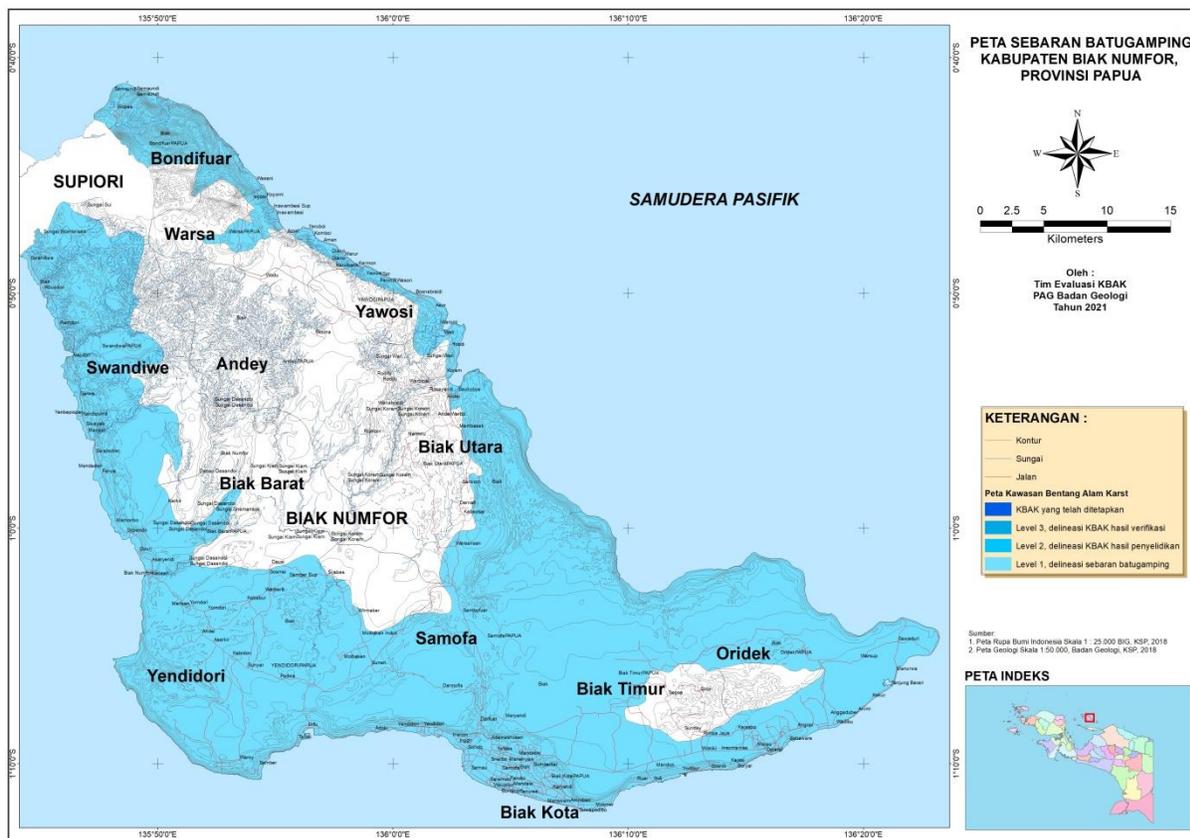
Gambar 3.24. Model Proses Karstifikasi

BAB IV

HASIL EVALUASI KAWASAN BENTANG ALAM KARST KABUPATEN BIAK NUMFOR

4.1 Sebaran dan Kedudukan Formasi Batugamping

Berdasarkan pada kedudukan dari beberapa formasi yang mengandung batu gamping, maka daerah penyelidikan terdapat 4 (empat) formasi batuan yang mengandung batu gamping (Gambar 4.1).



Gambar 4.1. Peta Sebaran Batugamping Kabupaten Biak Numfor (PAG-GL, 2021)

Berdasarkan umur batuanannya dari tua ke muda maka dapat diuraikan sebagai berikut :

- Formasi Wainukendi terdiri atas batugamping hablur, napal, batugamping berfosil banyak, greywacke, setempat lensa konglomerat basalt. Formasi ini diendapkan tidak selaras dengan Formasi Auwewa dan diendapkan selaras atau bisa juga menjemari dengan Formasi Wafordori. Formasi Wainukendi berumur Oligosen Akhir sampai Miosen Awal (Masria dkk, 1981).

Berdasarkan hasil pengamatan singkapan di Distrik Bondifuar dan Warsa, Formasi ini menunjukkan morfologi dengan kemiringan lereng sangat curam hingga terjal yang tersusun atas batugamping napalan, dan batugamping kapuran. Pada sebagian tempat, terlihat struktur perlapisan dengan arah jurus sekitar $N104^{\circ}E - N166^{\circ}E$, kemiringan lapisan batuan antara $4^{\circ} - 16^{\circ}$ dan terdapat sisipan tipis batugamping kristalin sekitar 3 cm (Gambar 3.6).

- Formasi Wafordori (*Tmw*) terdiri atas napal, batupasir dan sisipan batugamping hablur. Formasi ini ditindih selaras dengan Formasi Napisendi. Formasi Wafordori berumur Miosen Awal (Masria dkk, 1981).

Berdasarkan pengamatan singkapan di Daerah Inobe Distrik Warsa, Batugamping pasiran berwarna putih (warna lapuk coklat), tekstur klastik, struktur masif, terdapat fragmen pelecypoda (2 cm) pada masadasar kapur ukuran pasir sedang-kasar, dengan komposisi utama mineral berupa karbonat (Gambar 3.9).

- Formasi Napisendi (*Tmn*) terdiri atas batugamping berlapis, batugamping klastik tufaan, sisipan konglomerat andesit-basalt, breksi batugamping *lepidocyclina*, batugamping pasiran, napal pasiran, dan batupasir. Formasi ini diendapkan tidak selaras di bawah Formasi Korem dengan umur Miosen Awal (Masria dkk, 1981).

Berdasarkan pengamatan di lokasi pemetaan, singkapan batugamping pasiran dan napal pasiran dijumpai di Distrik Bondifuar dan Swandiwei Kabupaten Supiori. Singkapan batuan ini terlihat memiliki tekstur klastik dan struktur berlapis dengan arah jurus dan kemiringan lapisan batuan sekitar $N35^{\circ}E/20^{\circ}$.

- Formasi Wardo (*Tmpw*) terdiri atas batugamping napalan, dan pasiran disertai banyak foraminifera. Formasi Wardo berumur Miosen Awal hingga Pliosen yang diendapkan tidak selaras Formasi Mokmer (Masria dkk, 1981). Formasi Wonosari (*Tmw1*) dengan komposisi batugamping terumbu, batugamping berlapis, batugamping berkepingan, batugamping pasiran kasar, batugamping tufan dan napal.

Singkapan yang dijumpai di lapangan berupa napal gampingan dan batugamping pasiran. Napal gampingan (Gambar 3.14) yang dijumpai di Daerah Upuri Distrik Biak Barat berwarna abu-abu (warna lapuk coklat tua), tekstur klastik, struktur masif, massa dasar berukuran lempung dan terdapat fosil foraminifera berwarna putih.

Batugamping pasiran (Gambar 3.15) dijumpai sepanjang Distrik Biak Barat yang berwarna putih (warna lapukan coklat kekuningan), tekstur klastik, struktur berlapis, sementasi buruk, kemas terbuka, terdapat fosil pelecypoda, moluska hingga 4 cm, massa dasar berupa kapur berukuran pasir sedang-kasar, komposisi terdiri dari mineral karbonat seperti kalsit dan dolomit. Pola perlapisan pada formasi ini bervariasi dan diperkirakan karena proses tektonik sehingga terjadi proses pensesaran.

- Formasi Mokmer (*Qm*) terdiri atas batugamping koral dan kapur. Formasi ini berumur Plistosen hingga Holosen (Masria dkk, 1981). Berdasarkan pengamatan di lokasi pemetaan, singkapan batugamping koral dan kapur banyak dijumpai di Kota Biak, Distrik Biak Timur, Oridek dan Yendidori.

Batugamping koral berwarna putih (warna lapukan hitam), tekstur nonklastik, terdapat struktur pertumbuhan, fragmen terdiri dari koral dan sebagian terlihat moluska dan pelecypoda (2-8 cm), komposisi mineral berupa kalsit dan dolomit. Sedangkan Batugamping kapuran berwarna putih (warna lapukan coklat kehitaman), tekstur klastik, struktur masif, sementasi buruk, kemas terbuka, terdapat pecahan fosil moluska dan pelecypoda hingga 3 cm, terdiri dari mineral karbonat berukuran pasir lanau-pasir halus.

4.2 Kriteria Penentuan/Deliniasi KBAK

Kriteria eksokarst dan endokarst tertentu yang merupakan kriteria penentuan/deliniasi KBAK.

Bentuk eksokarst dan endokarst tertentu sebagaimana dimaksud pada pasal 4 ayat (1) Permen ESDM No.17/2012 tentang Penetapan KBAK mempunyai kriteria sebagai berikut :

1. Memiliki fungsi ilmiah sebagai obyek penelitian dan penyelidikan bagi pengembangan ilmu pengetahuan
2. Memiliki fungsi sebagai daerah imbuhan air tanah yang mampu menjadi media meresapkan air permukaan ke dalam tanah
3. Memiliki fungsi sebagai media penyimpan air tanah secara permanen dalam bentuk akuifer
4. Memiliki mata air permanen
5. Memiliki gua yang membentuk sungai atau jaringan sungai bawah tanah.

Delineasi KBAK didasarkan pada :

- Batas sebaran formasi batu gamping

- Sebaran eksokarst dan endokarst tertentu
- Kontur topografi.

4.3 Bentukan Eksokarst

Eksokarst dicirikan dengan topografi yang membentuk relief positif seperti bukit, sedangkan yang membentuk relief negatif, yaitu perlembahan, seperti dolina, uvala, polje, dan telaga. Manifestasi eksokarst lainnya yang terkait dengan fungsi hidrogeologi batu gamping adalah mata air karst, yang keluar maupun berasal dari jaringan sungai bawah permukaan tanah.

4.3.1 Bukit

Proses tektonik seperti pengangkatan dan perlipatan (struktur sinklin dan antiklin) dan pengkekaratan yang disertai dengan proses pelarutan mengakibatkan batuan mengalami belahan - belahan atau rekahan - rekahan yang rapat. Dengan demikian tubuh batu gamping tersayat hampir tegak dan cukup dalam, sehingga terbentuk sayatan tubuh batu gamping yang menyerupai bentuk menara (*tower*) dan jalur gawir terjal.

4.3.2 Dolina, Uvala dan Telaga

Dari pengamatan yang berdasarkan peta rupa bumi (topografi), dan peta citra satelit, dapat diidentifikasi adanya cekungan yang cukup luas berupa dolina dan telaga, sebagian dari daerah tersebut selalu tergenang oleh air. Dolina dan telaga berada pada zona sinklinal dan sebagian berada di daerah tinggian (bagian punggung pegunungan).

Telaga terbentuk pada bagian lembah bentang alam karst (termasuk lembah sinklin). Proses erosi yang terjadi membawa material tanah hasil lapukan batuan yang diendapkan di suatu cekungan. Pengendapan tanah yang terus menerus ke dalam cekungan tersebut mengakibatkan bagian dasar cekungan menjadi bersifat kedap, dan dapat menampung/menyimpan air.

4.3.3 Mata Air

Manifestasi eksokarst yang terkait dengan fungsi hidrogeologi batu gamping adalah terbentuknya mata air karst. Dari pengamatan di lapangan, keterdapatannya mata air berada hampir pada semua daerah kaki lereng bentang alam perbukitan karst.

Pemunculan mata air disebabkan karena adanya aliran air di bawah tekanan hidrostatik (pengaruh gaya gravitasi), akibat adanya beda tinggi suatu daerah dengan daerah sekitarnya,

tempat pemunculannya berasosiasi dengan terpotongnya aliran air tanah oleh suatu bentuk topografi.

4.4 Bentuk Endokarst

Proses terbentuknya endokarst diawali pada daerah lembah di permukaan (lembah dolina, *uvala*, *polje*), dan pada dasar lembahnya terkekarkan, dan terjadi pelarutan yang intensif sehingga terbentuk luweng/ponor (lubang larian), dan selanjutnya dapat terjadi keruntuhan yang disebut *sinkhole collapsed doline* (dolina yang runtuh atau *subsidence*). Proses tersebut dapat mengakibatkan bentang alam di bawah permukaan (endokarst) seperti sistem perguaan dan jaringan sungai bawah permukaan tanah.

4.4.1 Gua

Gua sebagai lubang yang terdapat di atas permukaan tanah maupun di bawah permukaan tanah, terutama yang berada di bawah permukaan tanah sebagian mempunyai hubungan dengan keberadaan sungai bawah tanah dan mata air, sehingga terdapat kondisi gua kering dan gua basah. Pada kedua jenis gua (kering dan basah) ini seringkali dijumpai tetesan air pada bagian atap/dinding gua yang berasal dari air epikarst. Keterdapatannya gua umumnya tidak dijumpai hanya satu gua saja, tetapi merupakan sistem perguaan, antara satu gua dengan gua lainnya saling berhubungan.

4.4.2 Sungai Bawah Tanah

Sungai bawah tanah umumnya terdapat pada daerah depresi yang terbentuk karena adanya proses mekanisme *sliding* (penurunan muka tanah) sehingga kondisi batu gamping yang telah mengalami proses penghancuran batuan, sehingga kondisi batuan menjadi retak-retak dan belah - belah, sehingga di bagian bawah permukaannya terbentuk sistem perguaan dan sungai bawah tanah.

4.5 Deliniasi Kawasan Bentang Alam Karst

Dalam mendeliniasi kawasan bentang alam karst untuk usulan Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst sesuai Permen ESDM Nomor 17 Tahun 2012 melakukan pengamatan beberapa hal sebagai berikut :

4.5.1 Sebaran Formasi Batu Gamping

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Biak Numfor Papua, skala 1 : 250.000 (Masria dkk, 1981) Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, sebaran batu gamping di daerah ini merupakan Formasi Wainukendi (*Tomw*), Formasi Wafordori (*Tmw*), Formasi Napisendi (*Tmn*)

dan Formasi Mokmer (*Qm*) bentuknya memanjang berarah baratlaut – tenggara mengelilingi rangkaian perbukitan disisi tengah daerah tersebut (Gambar 4.1).

4.5.2 Sebaran Eksokarst

Fenomena eksokarst yang dijumpai pada kawasan karst di Kabupaten Biak Numfor berupa bukit, dolina dan mata air.

4.5.2.1 Bukit

Bukit-bukit pada kawasan ini dicirikan oleh bukit-bukit yang menonjol dan terpisah satu sama lain (*scatter*) yang sejajar arah Barat - Timur (Gambar 4.2). Bukit-bukit tersebut tersebar di daerah Darfuar, Sambofuar, Warsansan dan Kabeoser dengan ketinggian 115 m sampai sekitar 258 m. (Gambar 4.2 dan 4.3)



Gambar 4.2. Perbukitan karst kabupaten Biak Numfor, walaupun belum sempurna membentuk *conical hill* (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)

4.5.2.2 Dolina, Uvala dan Telaga

Di daerah penyelidikan terdapatnya sejumlah cekungan sebagai akibat depresi dengan bentuk dan ukuran yang bervariasi, cekungan tersebut digenangi air atau tanpa air dengan kedalaman dan jarak yang berbeda-beda salah satunya terdapat di daerah Darfuar, Sambofuar, Darnafi dan Sunday (Gambar 4.3)



Gambar 4.3 Salah satu dolina di Kampung Sudey, Distrik Biak Timur yang dimanfaatkan sebagai lahan pertanian pada musim hujan (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)

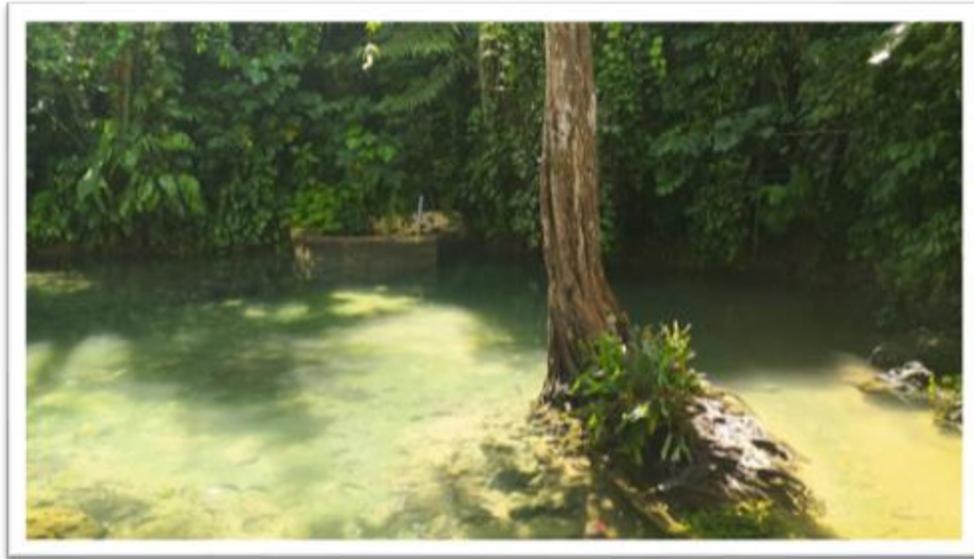
Sedangkan uvala yang ada dapat dijumpai di dekat lokasi dolina diatas, seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Uvala yang merupakan gabungan beberapa dolina di Kampung Dernafi, Distrik Biak Utara, dimanfaatkan sebagai lahan pertanian pada musim penghujan

4.5.2.3 Mata air

Mata air, keterdapatan mata air berada hampir pada semua daerah kaki lereng pegunungan karst sisi selatan kabupaten Biak Numfor. Mata air tersebut dimanfaatkan oleh penduduk setempat, debit mata air kecil sampai besar berkisar antara 0,5 - 10 l/det.



Gambar 4.5. Mataair Warbon, Kampung Andei, Distrik Biak Utara yang digunakan oleh masyarakat sebagai sumber air bersih sehari-hari (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)

4.5.3 Sebaran Endokarst

Fenomena endokarst yang dijumpai pada kawasan karst di daerah Kabupaten Biak Numfor berupa gua (kering/basah) dan sungai bawah tanah.

4.5.3.1 Gua



Gambar 4.6. Salah satu contoh gua kering yang berada di Kampung Andei, Distrik Biak Utara (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)

Gua yang teramati di pegunungan karst Kabupaten Biak Numfor berupa gua - gua horizontal dan vertikal, gua tersebut berupa gua kering dan gua basah. Kebanyakan gua yang terdapat di daerah ini berupa gua horizontal berjarak pendek dan bersifat kering.



Gambar 4.7. Kombinasi antara gua vertikal dan horizontal di Gua Binsari yang menjadi benteng pertahanan Tentara Jepang pada saat Perang Dunia II (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)



Gambar 4.8. Mulut Gua Kalibiru, merupakan gua yang mempunyai hubungan dengan keberadaan sungai bawah tanah dan tersambung dengan laut sehingga airnya tampak berwarna biru (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)

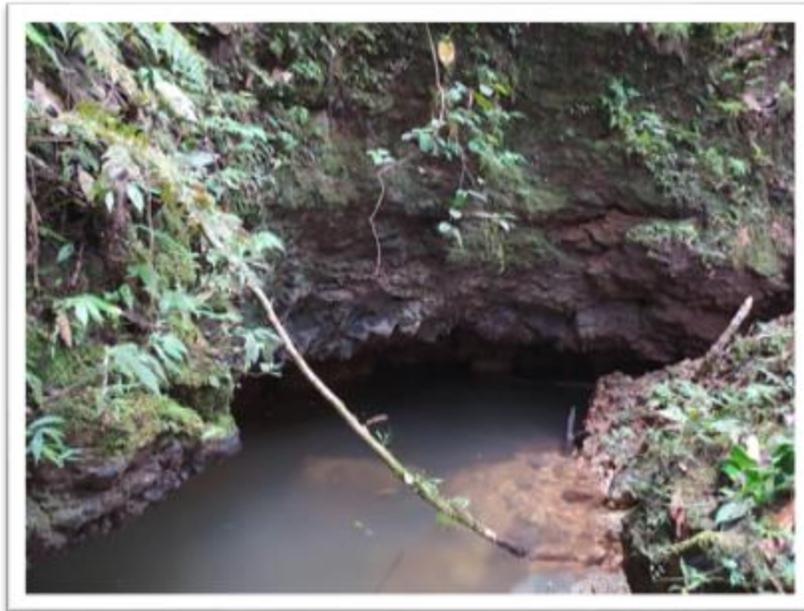
4.5.3.2 Sungai Bawah Tanah

Indikasi adanya jaringan sungai bawah tanah adalah dengan adanya sungai dengan aliran air yang deras berasal dari sungai bawah tanah biasanya terakumulasi pada cekungan yang kedap air menjadi sebuah telaga. Keterdapatannya gua karena pada umumnya tidak dijumpai hanya satu gua saja, tetapi merupakan sistem perguaan, antara satu gua dengan gua lainnya saling berhubungan, hubungan antara gua di atas permukaan tanah maupun di bawah permukaan tanah, terutama yang berada di bawah permukaan tanah sebagian mempunyai hubungan dengan keberadaan sungai bawah tanah dan mata air.

Sungai Tanah di daerah penyelidikan dijumpai di daerah Parai dan Sunde yang kondisi aliran air mengalir sepanjang tahun dengan fluktuasi penurunan debit air kecil debit air berkisar 14,5 l/det. Air tersebut digunakan oleh penduduk setempat untuk keperluan rumah tangga dan sebagainya.



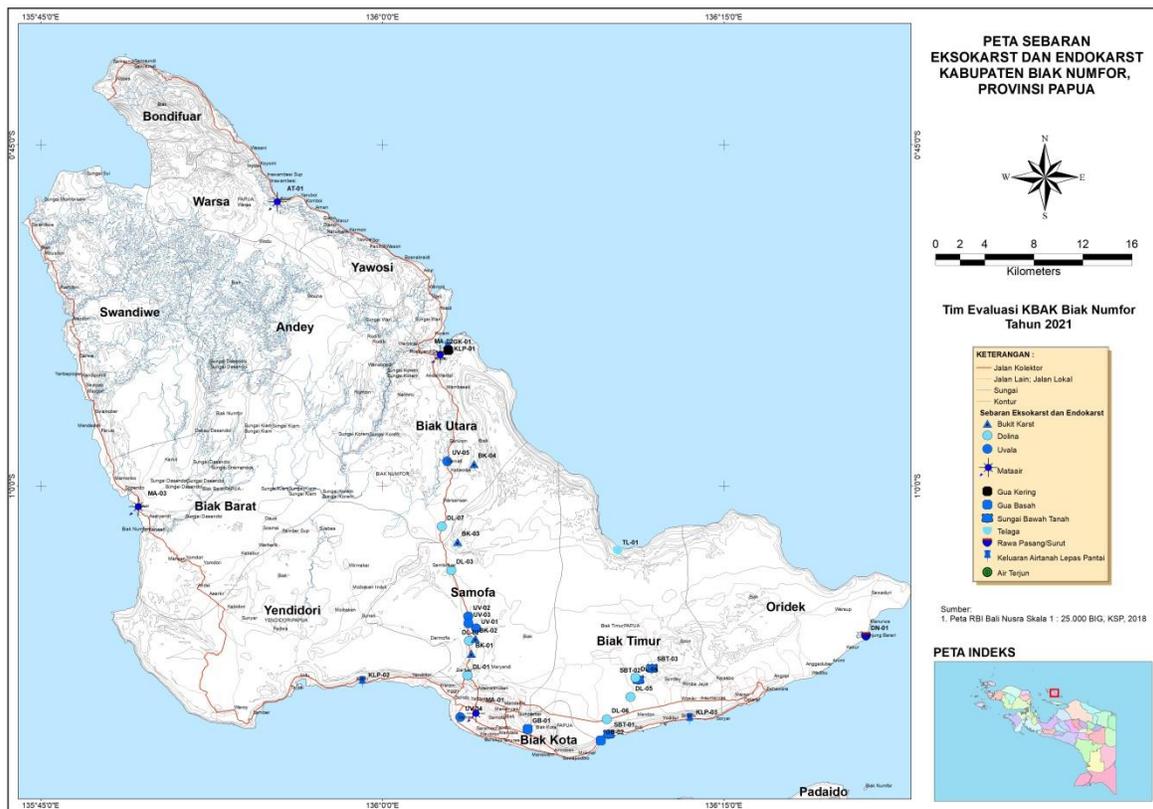
Gambar 4.9. Outlet Sungai Bawah Tanah Parai digunakan sebagai sumber utama PDAM Kota Biak sisi timur (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)



Gambar 4.10. Inlet Sungai Bawah Parai yang terdapat di daerah Mbefrikion, Kampung Sunde, Distrik Bioak Timur (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)



Gambar 4.11. Outlet Sungai Bawah Tanah Kampung Sunde, Distrik Biak Timur (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)



Gambar 4.12. Peta Sebaran Eksokarst Kabupaten Biak Numfor (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)

No	Kode	Lokasi	BT	LS	Elevasi	Suhu	pH	DHL	TDS	DO	Oksigen	ORP	Resistance	Salinitas	Hardness	Keterangan
1	SBT-01	Outlet Sungai Bawah Tanah Parai	136.165828	-1.182134	12.6	25.3	7.2	356	237	6.8	11.3	-16	2813.3	0.01	176	Sungai Bawah Tanah
2	SBT-02	Intlet Sungai Bawah Tanah Parai (Mbefrikion)	136.187489	-1.142169	43.2	24.9	7.42	67.4	45.3	7.6	20.2	-21	14.581	0	34.1	Sungai Bawah Tanah
3	MA-01	Mataair PDAM Biak (Sumur Belanda Snerpo)	136.068446	-1.166635	8.7	25.9	6.9	859	25.9	4	11.4	130	1142	0.04	435	Mataair
4	MA-02	Mataair Warbon	136.042475	-0.903725	10.6	26.4	7.28	1239	898	4	6.4	-36	762.5	0.07	656	Mataair
5	MA-03	Mataair Sumbinya	135.821301	-1.015212	19.9	26.9	7.86	277	186	2.5	6.2	-52	3520	0.01	142	Mataair
6	AT-01	Air Terjun Warfarak	135.923004	-0.791783	11.1	25.7	7.87	264	176	5.5	14.9	-51	3770	0	132	Air Terjun
7	KLP-01	Keluaran Airtanah Lepas Pantai Warbon	136.04784	0.899465	5.2	26.4	6.9	615	410	2.5	6.5	4	1631	0.02	305	Keluaran Airtanah Lepas Pantai
8	TL-01	Telaga Biru	136.172333	-1.047527	55.3	27.3	4.24	546	364	4.1	10.3	155	182.87	0.29	271	Telaga
9	SBT-03	Outlet Sungai Bawah Tanah Sunde	136.197555	-1.133798	71.8	25.2	6.86	51.5	33.9	10.8	25.9	6	20.058	0	24.6	Sungai Bawah Tanah
10	DL-01	Dolina 1	136.062379	-1.138837												Dolina
11	UV-01	Uvala 1	136.068657	-1.104345												Uvala
12	DL-02	Dolina 2	136.063404	-1.113587												Dolina
13	UV-02	Uvala 2	136.062794	-1.095544												Uvala
14	DL-03	Dolina 3	136.050411	-1.061739												Dolina
15	DL-04	Dolina 4	136.185389	-1.140568												Dolina
16	DL-05	Dolina 5	136.181672	-1.154701												Dolina
17	DL-06	Dolina 6	136.164321	-1.171072												Dolina
18	DL-07	Dolina 7	136.043555	-1.029691												Dolina
19	UV-03	Uvala 3	136.062979	-1.10074												Uvala
20	UV-04	Uvala 4	136.05701	-1.16953												Uvala
21	UV-05	Uvala 5	136.047539	-0.981933												Uvala
22	BK-01	Bukit Karst 1	136.065032	-1.122987												Bukit Karst
23	BK-02	Bukit Karst 2	136.068012	-1.112004												Bukit Karst
24	BK-03	Bukit Karst 3	136.054989	-1.041123												Bukit Karst
25	BK-04	Bukit Karst 4	136.067112	-0.983967												Bukit Karst
26	DN-01	Danau Laut Mati	136.354224	-1.110154												Danau
27	GB-01	Gua Binsari	136.10639	-1.178227												Gua Basah
28	GB-02	Gua Kalibiru	136.159811	-1.186658												Gua Basah
29	GK-01	Gua Andei	136.048171	-0.900469												Gua Kering
30	KLP-02	Keluaran Airtanah Lepas Pantai Andoki	135.985124	-1.143879												Keluaran Airtanah Lepas Pantai
31	KLP-03	Keluaran Airtanah Lepas Pantai Bosnik	136.224998	-1.171002												Keluaran Airtanah Lepas Pantai

Tabel 4.1. Sebaran Eksokarst dan Endokarst di Kabupaten Biak Numfor

4.6. Peta Usulan Kawasan Bentang Alam Karst

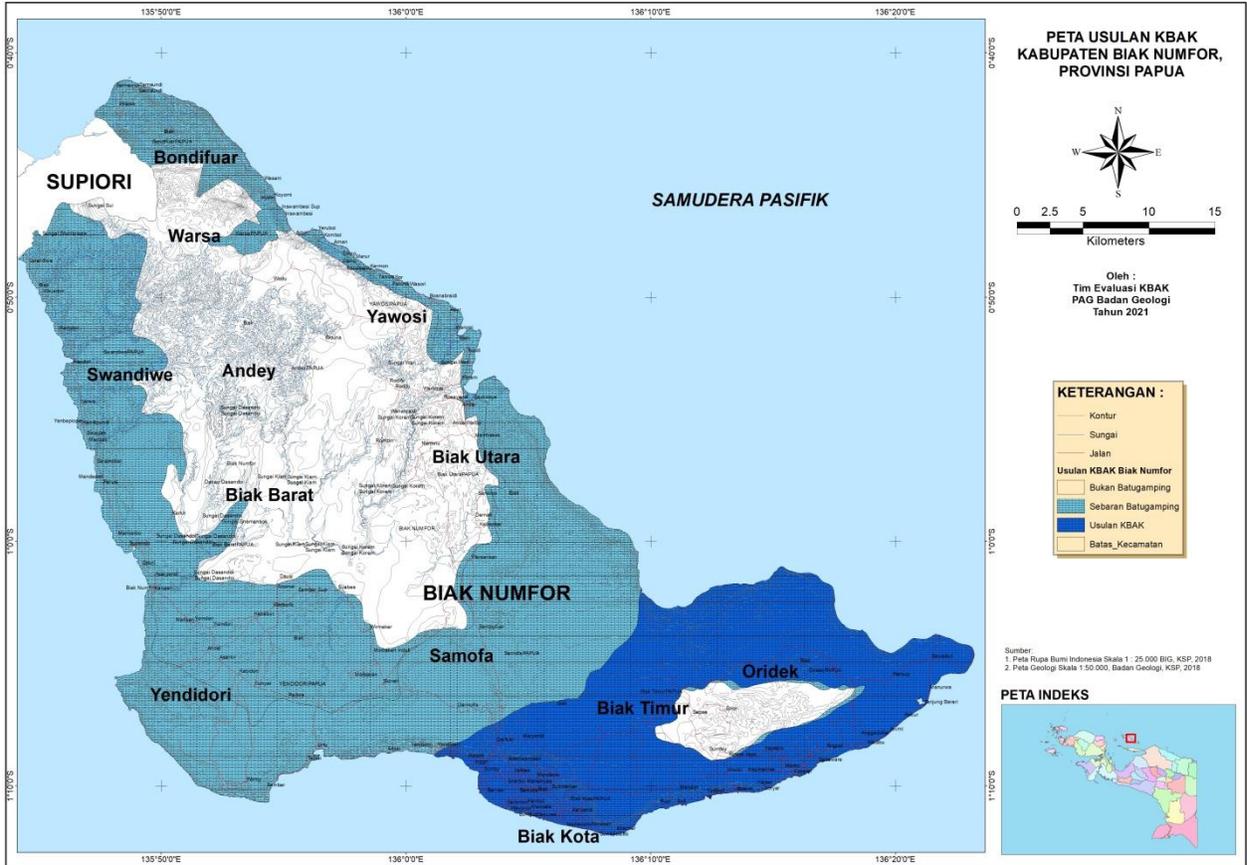
Berdasarkan hasil analisis dari data eksokarst dan endokarst yang terdapat di Kabupaten Biak Numfor dapat disimpulkan bahwa pada beberapa lokasi menunjukkan eksokarst dan endokarst tertentu yang merupakan kriteria kawasan bentang alam karst (KAK) sesuai dengan Permen ESDM No. 17/2012 tentang penetapan KBAK. Eksokarst dan endokarst tertentu tersebut berupa mata air permanen, dolina, gua basah dan sungai bawah tanah.

Kemudian untuk memudahkan dalam penarikan batas-batas deliniasi serta dalam penjabaran argumentasi maka kawasan bentang alam karst yang wajib dilindungi sesuai dengan Tabel 4.1.

Berdasarkan kriteria yang termasuk eksokarst dan endokarst tersebut dideliniasi kawasan bentang alam karst yang dapat diusulkan oleh Kabupaten Biak Numfor untuk ditetapkan oleh Menteri ESDM (Gambar 4.13).

No	Lokasi	Eksokarst	Endokarst	Kriteria KABK Pemen ESDM No.17 psl 4 ayat 4	Keterangan	Kesimpulan
1.	Karst Biak Kota-Biak Tumur-Oridek	- Bukit karst - Dolina - Mata air permanen	- Sungai bawah tanah - Gua Basah dengan Speleotem	a. Memiliki fungsi ilmiah sebagai obyek penelitian dan penyelidikan bagi pengembangan ilmu pengetahuan; b. Memiliki fungsi sebagai daerah imbuhan air tanah yang mampu menjadi media meresapkan air permukaan ke dalam tanah;	Semua kriteria terpenuhi	- Memenuhi kriteria Permen ESDM No. 17 Tahun 2012 - KBAK
2.	Karst Samofa-Yendidori-Biak Utara	- Bukit karst - Dolina - Mata air permanen	-	c. Memiliki fungsi sebagai media penyimpan air tanah secara tetap (permanen) dalam bentuk akuifer;	Tidak semua kriteria terpenuhi	- TIDAK Memenuhi kriteria Permen ESDM No. 17 Tahun 2012
3	Karst Biak Barat Swandiwe-Warsa	- Bukit karst - Dolina - Mata air permanen	-	d. Memiliki mataair permanen, dan e. Memiliki gua yang membentuk sungai atau jaringan sungai bawah tanah	Tidak semua kriteria terpenuhi	- TIDAK Memenuhi kriteria Permen ESDM No. 17 Tahun 201

Tabel 4.2. Penentuan KBAK Berdasarkan Eksokarst dan Endokarst Tertentu



Gambar 4.13. Peta Kawasan Bentang Alam Karst Kabupaten Biak Numfor
Numfor (Tim Evaluasi KBAK Biak Numfor, 2021)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penyelidikan dan hasil analisis data lapangan Kawasan Bentang Alam Karst di Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Laporan ini merupakan tahapan lanjutan dari Penyelidikan Terdahulu di Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua yang dilakukan Badan Geologi yang menghasilkan deliniasi sebaran batugamping, yaitu tahun 1981 oleh M. Masria, dkk dan tahun 2013 oleh Taufiq Wira Buana, dkk.
- Dengan selesainya laporan ini Kelas KBAK Kabupaten Biak Numfor menjadi Level 3 (*Merupakan polygon deliniasi KBAK di suatu daerah, kota, wilayah berdasarkan hasil evaluasi/verifikasi namun belum ditetapkan*)
- Badan Geologi akan melakukan koordinasi dengan Pemerintah Provinsi Papua dan Kabupaten Biak Numfor untuk segera membuat Usulan Penetapan KBAK Kabupaten Biak Numfor.
- Luasan KBAK Kabupaten Biak Numfor sudah dievaluasi, sehingga tinggal dituangkan dalam dokumen usulan yang akan dibuat oleh Pemerintah Kabupaten Biak Numfor bersama Pemerintah Provinsi Papua.
- Sebaran eksokarst dan endokarst di Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua terutama stalagtit-stalagmit di Gua Binsari memiliki keunikan yang harus dipertahankan dengan menjaga kondisi hidrogeologi disekitarnya sehingga proses karstifikasi terus berjalan.
- Sungai bawah tanah dan mataair yang berada zona KBAK memiliki kualitas kimia fisika air yang baik sehingga bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan hidup masyarakat.

5.2. Saran

- Hasil evaluasi dokumen KBAK ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan penyusunan Usulan Penetapan KBAK Kabupaten Biak Numfor, Provinsi Papua oleh Menteri ESDM.
- Untuk mataair - mataair yang berada di luar delineasi KBAK, agar dilindungi dengan perlindungan setempat sesuai dengan perundangan yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakti, H dkk, 2016, *Studi Air Tanah di Pantai Bosnik, Distrik Biak Timur, Pulau Biak, Provinsi Papua*, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 7 No. 3, Desember 2016 hal. 113 - 124
- Derek Ford and Paul Williams, 2007, *Karst Hydrogeology and Geomorphology*
- Ford, D.C. dan Williams, P.W., 1989, *Karst Geomorphology and Hydrology*, Chapman & Hall, London.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012, *Peraturan Menteri ESDM No.17 Tahun 2012 Tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst*.
- Masria, dkk, 1981. *Peta Geologi Lembar Biak, Irian Jaya*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Muksin, I dan Kusdarto, 2011, *Inventarisasi Mineral Non Logam Di Kabupaten Biak Numfor dan Kabupaten Supiori, Provinsi Papua*, Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun 2011, Bandung
- Rum Budi, S, 2004, *Peta Cekungan Air Tanah Pulau papua Lembar V*, Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan, Bandung
- Sulaeman, C dan Cipta, A, 2012, *Peta Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Provinsi Papua*, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung
- Wira Buana, T dkk, 2013, *Laporan Pemetaan Geologi Teknik Pulau Biak, Provinsi Papua*, Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, Bandung.