

KAJIAN PALEONTOLOGI BOVIDAE DARI FORMASI BAPANG DAERAH SANGIRAN BERDASARKAN MORFOLOGI, BIOMETRI, DAN MORFOMETRI GIGI MOLAR

M. RAIS FATHONI¹, ASWAN², YAHDI ZAIM²

1. Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran, Direktorat Jenderal Kebudayaan, Kemdikbud, Jl. Sangiran Km. 4, Kalijambe, Kab. Sragen, Jawa Tengah, Indonesia. Korespondensi: raizfathoni@gmail.com
2. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.

Sari –Penelitian ini bertujuan untuk pemerian taksonomi fosil Bovidae dari Formasi Bapang di Kubah Sangiran berdasarkan pengamatan morfologi, biometri, dan morfometri gigi molar (geraham) bawah. Dalam analisis ini digunakan 20 spesimen fosil gigi molar bawah. Berdasarkan pengamatan biometri molar bawah, *Bibos palaesondaicus* memiliki nilai *lingual-buccal* (LB), lebar anterior (AW), dan lebar posterior (PW) paling besar, kemudian secara berurutan diikuti molar *Bubalus palaeokerabau* dan *Duboisia santeng*. Pengamatan morfometri menunjukkan transformasi titik *landmark* yang berpengaruh terhadap pengelompokan spesimen berdasarkan kemiripan anatominya. *Wireframe* menunjukkan *metastylid* dan *entostylid* milik *B. palaeokerabau* lebih panjang atau melebar daripada *B. palaesondaicus*. Sebaliknya, *metaconid rib*, *entoconid rib*, *protoconid*, dan *hypoconid* pada *B. palaesondaicus* justru lebih panjang daripada *B. palaeokerabau*. Melalui *wireframed* terlihat bagian antomi *hypoconulid* pada M_3 *B. palaeokerabau* lebih ramping daripada *B. palaesondaicus*. Berdasarkan hasil pengamatan morfologi, biometri, dan morfometri molar bawah, Bovidae dalam Formasi Bapang dapat diklasifikasikan menjadi 3 taksa berdasarkan kemiripan anatominya, yaitu *B. palaeokerabau*, *B. palaesondaicus*, dan *D. santeng*.

Bapang Bawah didominasi konglomerat, terdapat fauna *B. palaeokerabau* dan *B. palaesondaicus*. Bapang Tengah dan Bapang Atas didominasi batupasir. Kumpulan Bovidae Bapang Tengah terdiri dari *B. palaeokerabau*, *B. palaesondaicus*, dan *D. santeng*, sedangkan Bapang Atas hanya dijumpai fauna *B. palaeokerabau* dan *B. palaesondaicus* saja. Berdasarkan karakter litologinya, Bapang Bawah diendapkan di lingkungan sungai bermekander, sedangkan Bapang Tengah dan Bapang Atas diendapkan di lingkungan sungai teranyam. Kehadiran *B. palaeokerabau* dan *B. palaesondaicus* mencerminkan lingkungan padang rumput, sedangkan *D. santeng* mengindikasikan keberadaan kanopi (hutan) tertutup.

Kata kunci: morfologi biometri morfometri, molar Bovidae, Fm. Bapang, Sangiran

Abstract - This study aims to identify the taxonomy of Bovidae fossils from the Bapang Formation of the Sangiran Dome based on morphological, biometry, and morphometry observations of lower molar teeth. Twenty (20) molar specimens were used in this analysis. Based on the lower molar biometry observations, *Bibos palaesondaicus* has the largest LB, AW, and PW values, followed by *Bubalus palaeokerabau* and *Duboisia santeng*, respectively. Morphometric analysis shows that the transformation of the landmark point (anatomy) affects the attempt of taxa identification. The wireframe shows that *B. palaeokerabau*'s metastylids and entostylids are longer or wider than *B. palaesondaicus*. In contrast, the metaconid rib, entoconid rib, protoconid, and hypoconid in *B. palaesondaicus*' molar are longer than *B. palaeokerabau*'s molar. Through the wireframe, the hypoconulid of the M_3 *B. palaeokerabau*'s is narrower than *B. palaesondaicus*' molar. Based on morphological, biometry, and morphometry molar analysis, the Bovidae fossils from the Bapang Formation can be classified into 3 taxa based on their anatomical similarities, they are *Bubalus palaeokerabau*, *Bibos palaesondaicus*, and *Dubiosia santeng*.

Lower Bapang is dominated by conglomerates, with *B. palaeokerabau* and *B. palaesondaicus* fauna. Middle Bapang and Upper Bapang are dominated by sandstones. In Middle Bapang there are *B. palaeokerabau*, *B. palaesondaicus*, and *D. santeng*, while in Upper Bapang there are only *B. palaeokerabau* and *B. palaesondaicus*. Based on its lithological character, the Lower Bapang was deposited in the meandering river. Middle Bapang and Upper Bapang were deposited in the braided river. The presence of *B. palaeokerabau* and *B. palaesondaicus* represented a grassland, while *D. santeng* indicated the presence of a closed - canopy.

Keywords: morphology biometry morphometry, Bovidae molar, Bapang Fm., Sangiran

1. PENDAHULUAN

Menurut Itihara dkk. (1985), litostratigrafi Kubah Sangiran tersusun oleh empat formasi yang berumur Pliosen hingga Pleistosen Tengah, yaitu: Formasi Puren (Formasi Kalibeng), Formasi Sangiran (Formasi Pucangan), Formasi Bapang (Formasi Kabuh), dan Formasi Pohjajar (Formasi Notopuro). Formasi Puren tersusun oleh batulempung biru dan batugamping yang diendapkan di lingkungan laut dangkal hingga air payau. Formasi yang berumur Pliosen Akhir ini, pada bagian paling atas ditindih secara tidak selaras oleh Formasi Sangiran. Formasi Sangiran sendiri dibagi menjadi dua satuan yaitu Unit Lahar Bawah pada bagian bawah dan lempung hitam di bagian atas. Lempung hitam ini diinterpretasikan terendapkan di lingkungan air payau dan marin pada bagian bawah, kemudian mengalami perubahan menjadi lakustrin (air tawar) pada bagian atas. Melalui metode zircon-FT pada salah satu lapisan tuf, Matsu'ura dkk. (2020) mendapatkan umur absolut satuan lempung ini adalah 1.345 ± 0.108 juta tahun lalu (jtl). Formasi Sangiran ditindih secara selaras oleh Formasi Bapang yang tersusun oleh konglomerat, batupasir berstruktur silang siur, tuf, dan lempung yang diinterpretasikan terendapkan di lingkungan sungai (fluvial). Matsu'ura dkk. (2020) melakukan penanggalan absolut pada Zona Grenzbank (lapisan paling tua Fm. Bapang) dengan menggunakan metode zircon U-Pb dan menghasilkan umur 0.971 ± 0.009 jtl. Selain itu, Suzuki dkk. (1985) melakukan penanggalan pada lapisan batupasir di bawah Tuf Atas dan memperoleh umur sekitar 0.71 jtl. Formasi Pohjajar menindih Formasi Bapang secara tidak selaras. Formasi Pohjajar terdiri dari gravel, pasir, lanau, dan lempung yang mencirikan lingkungan pengendapan darat. Suzuki dkk. (1985) melakukan penanggalan absolut menggunakan metode *fission track* di salah satu lapisan *pumice* dan memperoleh umur 0.25 ± 0.07 jtl.

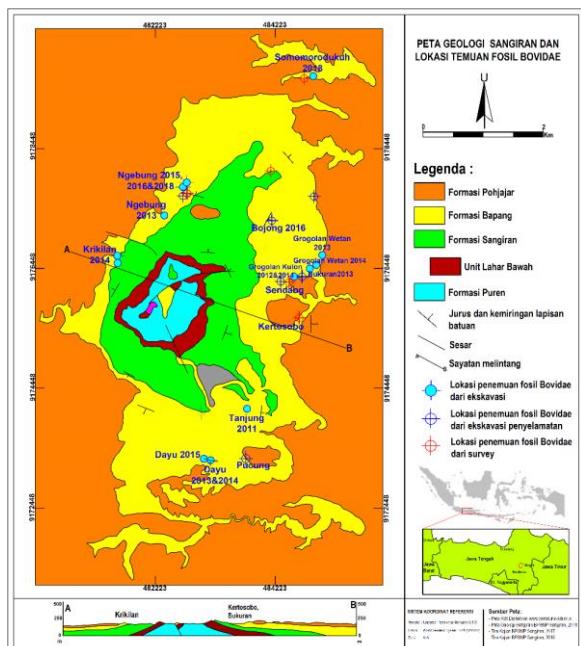
Sebagian besar fosil vertebrata di Sangiran

berasal dari Formasi Bapang. Formasi ini tersusun oleh litologi batupasir, konglomerat, tuf, dan lempung. Dari beberapa litologi tersebut, batupasir menjadi penyusun paling dominan. Umumnya litologi tersebut dicirikan oleh butir kuarsa dan mineral besi berukuran pasir halus – kasar, fragmen andesite dan tuf berbutir kerikil – kerakal *rounded-subrounded*, berstruktur *graded bedding* dan silang siur, dan non karbonatan. Berdasarkan karakteristiknya, satuan batupasir tersebut diinterpretasikan terendapkan di lingkungan sungai. Di dalamnya ditemukan fosil *Homo erectus* dan berbagai macam fosil vertebrata.

Berdasarkan kumpulan fauna Bovidae dan Cervidae, Fm. Bapang dapat dibagi menjadi 3 bagian (zona) yaitu, Bapang Bawah, Bapang Tengah, dan Bapang Atas (Fathoni, 2021). Batas antar bagian (zona) tersebut sementara masih diperkirakan. Bapang Bawah berkorelasi dengan Fauna Trinil H.K., sedangkan Bapang Tengah dapat disebandingkan dengan Fauna Kedung Bribus. Sementara kumpulan fauna Bapang Atas belum dapat dikorelasikan dengan biostratigrafi vertebrata Jawa.

Sangiran terkenal berkat penemuan fosil manusia purba *Homo erectus* yang mencapai 50% dari populasi dunia (Widianto dan Simanjuntak, 2009). Sebagian fosil *H. erectus* di Sangiran berasal dari Formasi Bapang (Bettis dkk., 2009; Bouteaux dkk., 2007; Grimaud-hervé dkk., 2012; Matsu'ura dkk., 2020; Sémaah dkk., 1992; Zaim dkk., 2011). Selain manusia purba, berbagai macam fosil vertebrata juga dapat ditemukan di dalam formasi tersebut, termasuk Bovidae. Taksa dari famili tersebut dapat menggambarkan kondisi lingkungan yang bervariasi. Untuk itu, kajian paleontologi Bovidae pada Formasi Bapang sangat menarik dikaji karena dapat menjadi proksi dalam interpretasi kondisi lingkungan dalam konteks kehidupan *H. erectus*. Untuk itu, semua spesimen fosil Bovidae yang dikaji dipastikan berasal dari Formasi Bapang. Sebaran Fm. Bapang beserta lokasi

penemuannya dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Geologi Kubah Sangiran yang menunjukkan sebaran Fm. Bapang tempat ditemukannya fosil vertebrata termasuk Bovidae (Peta Geologi Kubah Sangiran yang dimodifikasi dari BPSPM Sangiran (2014)).

Beragam pendekatan paleontologi dapat digunakan guna merekonstruksi lingkungan purba pada Formasi Bapang di Sangiran. Pendekatannya dapat melalui pengamatan morfologi, biometri, dan morfometri gigi molar. Di Sangiran, kajian paleontologi vertebrata pernah dilakukan oleh Aimi dan Aziz (1985), Ansyori (2018), Bouteaux (2005), dan Bouteaux dkk. (2007). Puspaningrum (2011) juga pernah melakukan palaeontologi khusus kelompok gajah di daerah yang sama. Adapun peneliti yang pernah melakukan kajian paleontologi Bovidae di Sangiran diantaranya Janssen dkk. (2016) dan Rosyidah (2017).

Paleontologi Bovidae dari Formasi Bapang sangat menarik untuk dikaji. Keberadaan taksa ini sering dikaitkan dengan makanan maupun artefak dalam konteks kehidupan *H. erectus*. Bovidae merupakan salah satu binatang yang diburu untuk diambil dagingnya sebagai makanan, adapun

tulangnya juga dimanfaatkan sebagai alat/ artefak (Abdullah, 2018). Spesimen Bovidae ditemukan dalam jumlah yang cukup melimpah dengan sebaran lateral yang cukup luas. Spesimen fosilnya dapat ditemukan di berbagai lokasi di Sangiran. Famili ini juga memiliki taksa yang bervariasi dengan sebaran vertikal yang cukup panjang dari Formasi Sangiran yang berumur Pleistosen Bawah hingga Formasi Pohjajar yang berumur akhir Pleistosen Tengah.

Penelitian ini bertujuan untuk pemerian taksonomi fosil Bovidae yang terdapat dalam Formasi Bapang melalui analisis kualitatif (morfologi) dan kuantitatif (biometri dan morfometri) gigi molar bawah. Kumpulan fauna Bovidae dapat digunakan untuk merekonstruksi lingkungan purba dalam konteks kehidupan *H. erectus* di Sangiran terutama saat akhir Pleistosen Bawah.

2. METODOLOGI

Kajian paleontologi Bovidae dilakukan dengan metode kualitatif berupa analisis morfologi dan kuantitatif berupa analisis biometri dan analisis morfometri. Analisis morfologi merupakan metode kualitatif yang mengedepankan pengamatan visual ciri-ciri anatomis seperti bentuk, ukuran relatif, kenampakan yang khas (menonjol), dan fitur lainnya (sutur atau garis). Visualisasi dan terminologi gigi molar Bovidae merujuk pada Akbar Khan dkk. (2015) seperti pada **Gambar 2a**.

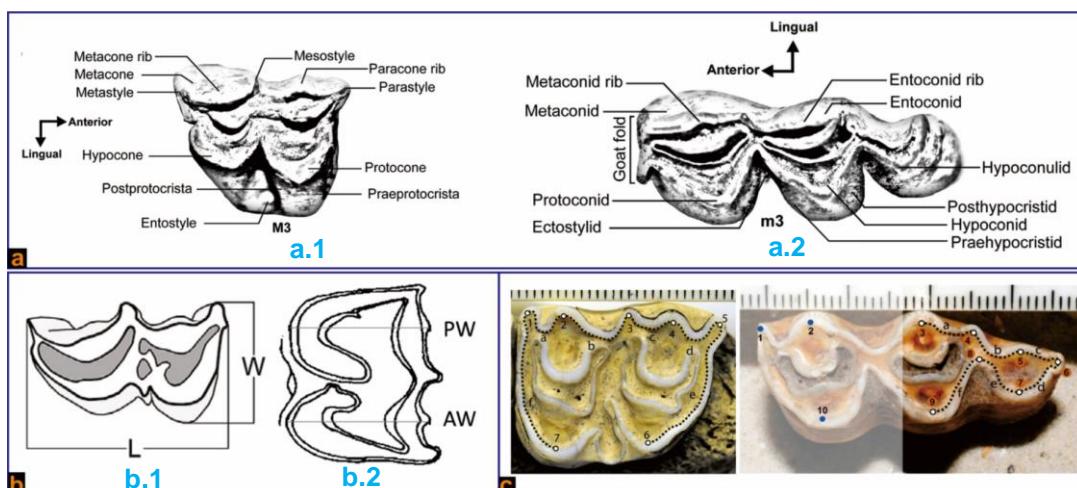
Parameter pengukuran biometri gigi molar Bovidae merujuk pada Driesch (1976) dan Gruwier dkk. (2015), seperti pada **Gambar 2b**. Hasil pengukuran biometri kemudian dianalisis menggunakan *principal components analysis* (PCA). Metode ini termasuk kedalam statistik *multivariate* yang menghasilkan hipotetis variabel (komponen) baru berdasarkan perhitungan statistik variabel asli sebagai parameternya. Selain dapat mengetahui pengelompokan taksa berdasarkan kemiripan biometri, analisis ini juga mampu mereduksi atau memilih sekian banyak parameter menjadi peramater terpenting saja. Dalam penelitian ini, PCA

biometri menggunakan perangkat lunak Past 4.02 (Hammer dkk., 2020).

Selain biometri, pengamatan paleontologi juga dapat dilakukan melalui metode morfometri. Analisis morfometri tergolong dalam metode kuantitatif, merupakan pendekatan baru dalam mengevaluasi variabilitas morfologi, biomedis, bioarkeologi, evolusi, dan ekologi (Bigoni dkk. 2010 dalam Safitri, 2018).

Analisis morfometri, beberapa peneliti menyebutnya geometri morfometri (GMM), juga dikenal dengan *landmark morphometric* adalah teknik morfometri menggunakan

koordinat *landmark* yang diolah dengan proses digitalisasi koordinat pada struktur anatomi (Bookstein, 1991). Teknik ini mampu memetakan transformasi objek ke bentuk lain melalui transformasi titik-titik anatomi (Bookstein, 1991; Rohlf dan Marcus 1993; Richtsmeier dkk. 2002; Zelditch dkk. 2004; Adams dkk. 2004 dalam Safitri, 2018). Penelitian ini menggunakan koordinat *landmark* 2D dengan objek material berupa permukaan gigi Bovidae tampak *occlusal*. Proses digitalisasi koordinat titik-titik anatomic pada bagian permukaan gigi Bovidae menggunakan perangkat lunak tpsDig2 dari Rohlf (2018).



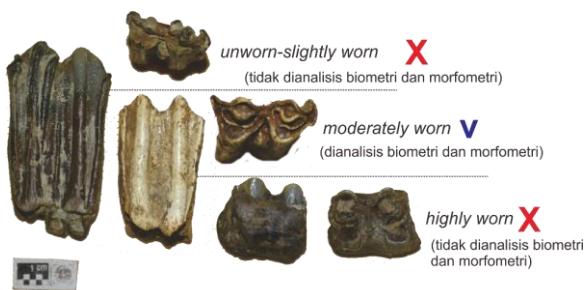
Gambar 2. (a) Kenampakan oklusal dan terminologi gigi molar salah satu spesies Bovidae *Gazzella lydekkeri* (Khan dkk., 2015): (a.1) M³ (a.2) M₃. (b) Parameter pengukuran biometri gigi molar: (b.1) pengukuran *length* (L) atau *mesial-distal* (MD) dan *width* (W) atau *lingual-buccal* (LB) merujuk Driesch (1976) dan Alvarez-lao dkk. (2020); (b.2) pengukuran lebar anterior (AW) dan lebar posterior (PW) pada molar Cervidae yang diaplikasikan pada gigi molar Bovidae (diadopsi dari Lister (1996) dalam Gruwier dkk. (2015)). (c) *Landmarks* 1-7 digunakan sebagai parameter untuk molar M₁, M₂, M¹, M², dan M³ Bovidae (c.1) dengan skala mm (Cucchi dkk., 2019). *Landmarks* 1-10 digunakan untuk M₃ Bovidae (c.2) dengan skala mm (modifikasi dari Cucchi dkk., 2019).

Dalam penelitian ini menggunakan parameter koordinat *landmark* tipe II yaitu titik-titik pada lekukan permukaan mahkota gigi (Wibowo, 2016). Cucchi dkk. (2019) menyebut parameter tersebut dengan *enamel folding pattern of the occlusal surfaces* (EFPOS), serta menggunakan pada molar Bovidae. Dalam penelitian ini, penentuan parameter titik *landmark* juga mengacu pada Cucchi dkk. (2019) seperti pada Gambar 2c.

Terdapat 7 titik *landmark* yang ditempatkan di lekukan M₁, M₂, M¹, M₃, M₂, dan M³. Khusus untuk M₃, dalam penelitian ini ditambahkan 3 titik *landmark* sehingga jumlahnya menjadi 10 titik. Setelah diperoleh data koordinat dari titik *landmark*, kemudian dilakukan operasi superimposisi untuk menghilangkan variasi yang berkaitan dengan perbedaan lokasi, orientasi, dan ukuran (Webster dan Sheets, 2010). Setelah

operasi selesai, dilakukan analisis *principal components analysis* (PCA) untuk mengetahui kedekatan taksa berdasarkan kemiripan titik anatominya. Selain itu, analisis ini juga dapat mengetahui parameter

Fosil Bovidae yang diamati merupakan gigi molar (geraham) bawah yang berjumlah 20 spesimen yang terdiri dari molar bawah ke-1 (M_1), molar bawah ke-2 (M_2), dan molar bawah ke-3 (M_3). Hanya gigi molar dengan tingkat keausan sedang (*moderately worn*) yang digunakan dalam penelitian ini (**Gambar 3**). Tujuannya adalah menghindari faktor bias pengukuran. Molar dengan tingkat keausan tinggi memiliki lebar (*width*) yang lebih besar dibandingkan molar dengan tingkat keausan sedang diikuti tingkat keausan rendah dan tidak aus.



Gambar 3. Kriteria tingkat keausan gigi molar Bovidae.

Spesimen-spesimen tersebut merupakan koleksi milik Balai Pelestarian Situs Manusia Sangiran dan Pusat Penelitian Arkeologi Nasional. Hampir semua spesimen fosil berasal dari kegiatan ekskavasi dan penyelamatan temuan, sehingga memiliki konteks stratigrafi dan lokasi penemuan yang jelas. Fosil-fosil tersebut berasal dari beberapa lokasi di Sangiran, seperti: Ngebung, Somomorodukuh, Krikilan, Grogolan Kulon, Grogolan Wetan, Bukuran, Sendang, Dayu, Pucung, dan Tanjung. Semua spesimen yang diamati dipastikan berasal dari Formasi Bapang. Fosil yang berasal dari ekskavasi dan penyematan, penentuan posisi stratigrafinya dilakukan dengan cara melakukan stratigrafi terukur, kemudian dilakukan korelasi litostratigrafi menggunakan datum lapisan penanda seperti *Grenzbank*, *tuf*, dan *paleosols*. Adapun fosil

terpenting atau yang memiliki hubungan paling kuat di setiap komponen. Operasi superimposisi dan PCA data morfometri menggunakan perangkat lunak MorphoJ (Klingenberg, 2011).

yang berasal temuan permukaan, penentuan posisi stratigrafinya bersifat diperkirakan yang diperoleh melalui pendekatan penempatan titik koordinat lokasi temuan kedalam sayatan melintang dalam peta geologi.

3. DATA DAN HASIL ANALISIS

3.1 Morfologi Gigi Molar

3.1.1 Spesimen Holotype: Molar Bawah

Kode spesimen:

M₁: Bubalus13, Bubalus 21a, dan

Bubalus27

M₂: Bubalus21b

M₃: Bubalus04, Bubalus11, dan Bubalus22

Deskripsi:

Spesimen-spesimen tersebut memiliki enamel tebal. Umumnya *protoconid* dan *hypoconid* berbentuk baji (V). *Metaconid* dan *entoconid* terlipat kaku, panjang, dan *rib* menonjol tidak terlalu tinggi. *Metastylid* dan *entostylid* menonjol ramping (*slender*) hingga sempit, tinggi dengan ujung lancip. *Mesostylid* umumnya menonjol ramping dan tidak begitu tinggi. Antara *metaconid rib* dan *metastylid* serta *entoconid rib* dan *entostylid* jaraknya cukup lebar. *Ectostylid* dan *cingulid* selalu hadir. Pada M_3 , *hypoconulid* berbentuk ramping, ujungnya lurus dan tidak begitu lebar. Dari morfologi yang ditunjukkan oleh spesimen tersebut, maka dapat disimpulkan spesimen ini milik *Bubalus palaeokerabau*.

Kode spesimen:

M₁: Bibos19a, Bibos23a, dan Bibos26

M₂: Bibos10, Bibos19b, Bibos20a,

Bibos23b, dan Bibos25a

M₃: Bibos19c, Bibos20b, Bibos09, dan

Bibos25b

Deskripsi:

Spesimen-spesimen molar tersebut memiliki ketebalan enamel yang bervariasi. Umumnya *protoconid* dan *hypoconid* berbentuk U. *Metaconid* dan *entoconid* terlipat halus, tidak

terlalu panjang (melebar), namun *rib* menonjol tinggi. *Metastylid* menonjol tidak terlalu tinggi dan lebar, sedangkan *entostylid* menonjol ramping (*slender*) hingga lebar juga tidak terlalu tinggi. *Mesostylid* tidak menonjol. Antara *metaconid rib* dan *metastylid* serta *entoconid rib* dan *entostylid* jaraknya sempit dan dijumpai alur vertikal yang cukup dalam. Sebagian besar spesimen memiliki *ectosylid (basal pillar)*, namun tidak mempunyai *cingulum (goat fold)*. Karakter morfologi dari spesimen-spesimen tersebut menunjukkan molar milik *Bibos palaesondaicus*.

Kode spesimen: Duboisia12 (M₂)

Deskripsi:

Spesimen ini memiliki enamel yang tipis. Bagian *protoconid* dan *hypoconid* berbentuk baji (V). *Metaconid* dan *entoconid* cenderung panjang dan tidak terlalu tinggi. *Metastylid* dan *entostylid* menonjol, sedangkan *mesostylid* tidak menonjol. Antara *metaconid rib* dan *metastylid* serta *entoconid rib* dan *entostylid* jaraknya lebar. *Ectosylid* selalu hadir, namun tidak dijumpai *cingulid*. Molar dengan karakter morfologi tersebut disimpulkan milik *Duboisia santeng*.

Berdasarkan hasil pengamatan morfologi spesimen gigi molar bawah, disimpulkan bahwa *metaconid* dan *entoconid* milik *B. palaeokerabau* terlipat kaku, panjang (melebar), dan *rib* menonjol tidak tinggi, sedangkan milik *B. palaesondaicus* terlipat halus, tidak terlalu panjang namun *rib* menonjol tinggi. Pada *B. palaesondaicus*, antara *metaconid rib* dan *metastylid* jaraknya sempit, sedangkan *B. palaeokerabau* dan *D. santeng* relatif lebar. Selain itu, *entostylid* dan *metastylid* pada *B. palaesondaicus* juga lebih pendek dan lebar daripada milik *B. palaeokerabau*. Menurut Khurniawan

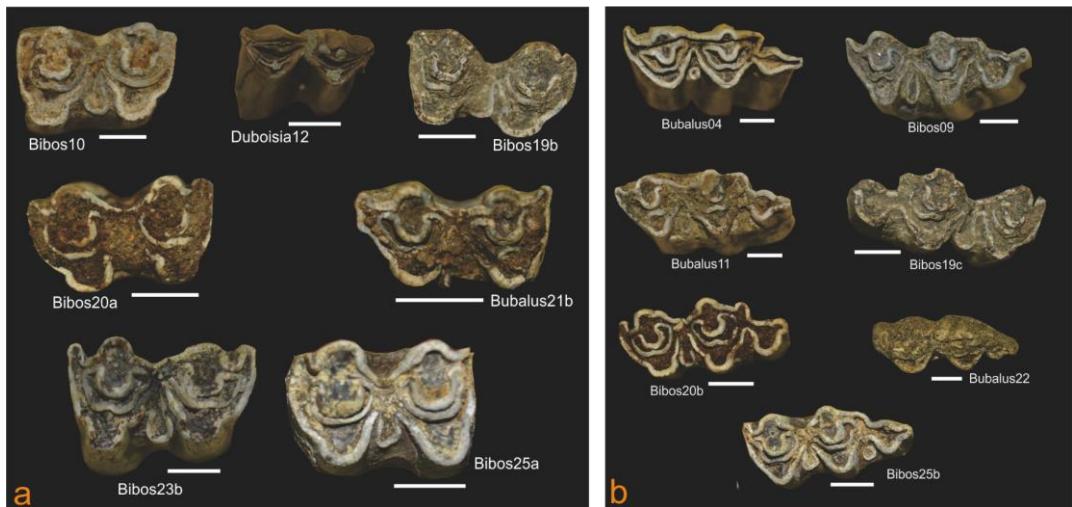
(2019), umumnya *metastylid* pada *B. palaeokerabau* berkembang, besar, dan kekar. Sebaliknya, pada *B. palaesondaicus* biasanya kecil dan tidak berkembang. Selain itu, *Bubalus* memiliki *protocone* berbentuk U sempit dan jelas, sedangkan pada *Bibos* bentuknya V atau U halus dan lebar (Khurniawan, 2019). Morfologi molar antara *B. palaeokerabau* dan *D. santeng* hampir mirip, perbedaannya ukuran *D. santeng* lebih kecil. Pada M₃, *hypoconulid* milik *B. palaeokerabau* berbentuk ramping, ujungnya lurus dan tidak begitu lebar, sedangkan pada *B. palaesondaicus* berbentuk lebar, cembung, dengan ujungnya lurus dan lebar.

3.2 Biometri Gigi Molar

Sejumlah 20 spesimen gigi molar bawah M₁, M₂, dan M₃ Bovidae dilakukan pengukuran biometri dengan menggunakan 6 parameter, yaitu: panjang *mesial-distal* (MD) atau *length* (L), lebar *lingual-buccal* (LB) atau *width* (W), rasio LB/MD (Khan dkk., 2015 dan Saeed dkk., 2018), lebar anterior (AW), lebar posterior (PW), dan (AW/PW)100 (Gruwier dkk., 2015). Hasil pengukuran biometri dapat dilihat pada Lampiran 2. Hasil pengukurannya kemudian dianalisis menggunakan metode PCA.

3.3 Morfometri Gigi Molar

Sejumlah 7 spesimen gigi molar bawah ke-2 (M₂) dan 7 spesimen gigi molar bawah ke-3 (M₃) Bovidae dianalisis morfometrinya. Visual masing-masing bagian gigi molar tampak oklusal dapat dilihat pada **Gambar 4**. Setiap spesimen gigi molar dilakukan digitalisasi titik *landmark* untuk mendapatkan data koordinat (Lampiran 2). Langkah selanjutnya adalah melakukan operasi superimposisi terhadap koordinat *landmark*, kemudian dianalisis menggunakan metode PCA.



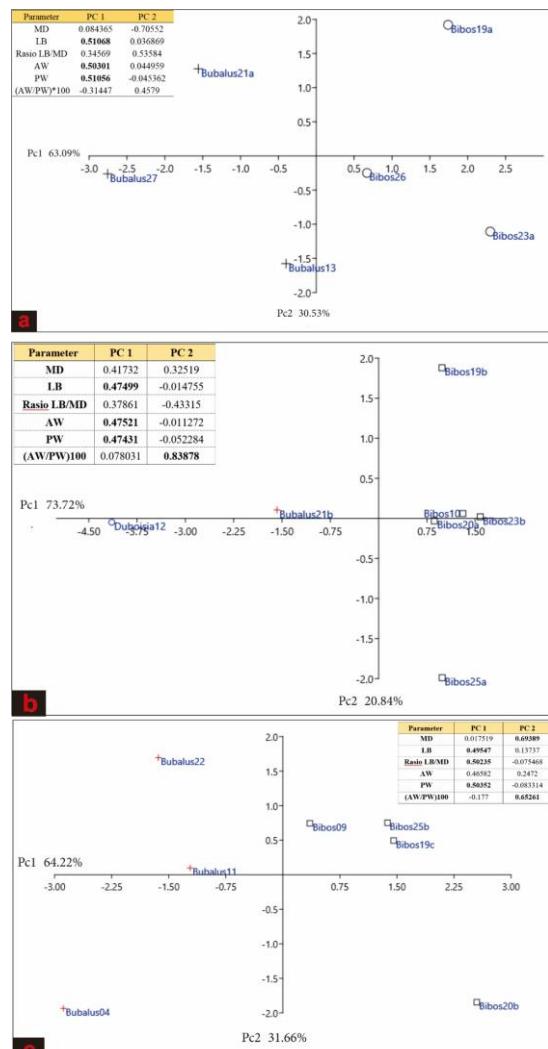
Gambar 4. Spesimen gigi molar bawah Bovidae tampak oklusal: a. M₂ dan b. M₃.

4. DISKUSI

Hasil pengukuran biometri gigi M₁, M₂, dan M₃ Bovidae kemudian dianalisis menggunakan PCA untuk mendapatkan diagram *scatter plot* komponen 1 (PC1) terhadap komponen 2 (PC2) seperti pada **Gambar 5**. Diagram tersebut menunjukkan pemisahan spesimen-spesimen sesuai dengan taksanya. PC1 umumnya memiliki nilai *eigenvalue* atau varian terbesar, sehingga cukup untuk mewakili semua parameter yang digunakan. Komponen tersebut membagi spesimen menjadi 2 klaster dan 3 klaster. Masing-masing klaster ditempati oleh spesimen-spesimen dari taksa yang sama yaitu *Bubalus palaeokerabau*, *Bibos palaesondaicus*, dan *Duboisia santeng*.

Selain *scatter plot*, analisis PCA juga menyajikan nilai *loading* atau koefisien korelasi. Nilai ini berfungsi untuk mengetahui keeratan hubungan (korelasi) semua parameter di setiap komponen. Parameter yang paling kuat korelasinya ditunjukkan oleh nilai *loading* yang tinggi yaitu lebih dari 0.5 atau kurang dari -0.5. Nilai positif bermakna memiliki hubungan searah atau berbanding lurus, sebaliknya nilai negatif menunjukkan hubungan berlawanan arah (berbanding terbalik). Pada PC1, Nilai *loading* paling besar umumnya terdapat pada parameter LB, AW, PW. Artinya, ketiga parameter memiliki keeratan hubungan (korelasi) yang paling kuat di antara parameter lainnya. Oleh sebab itu,

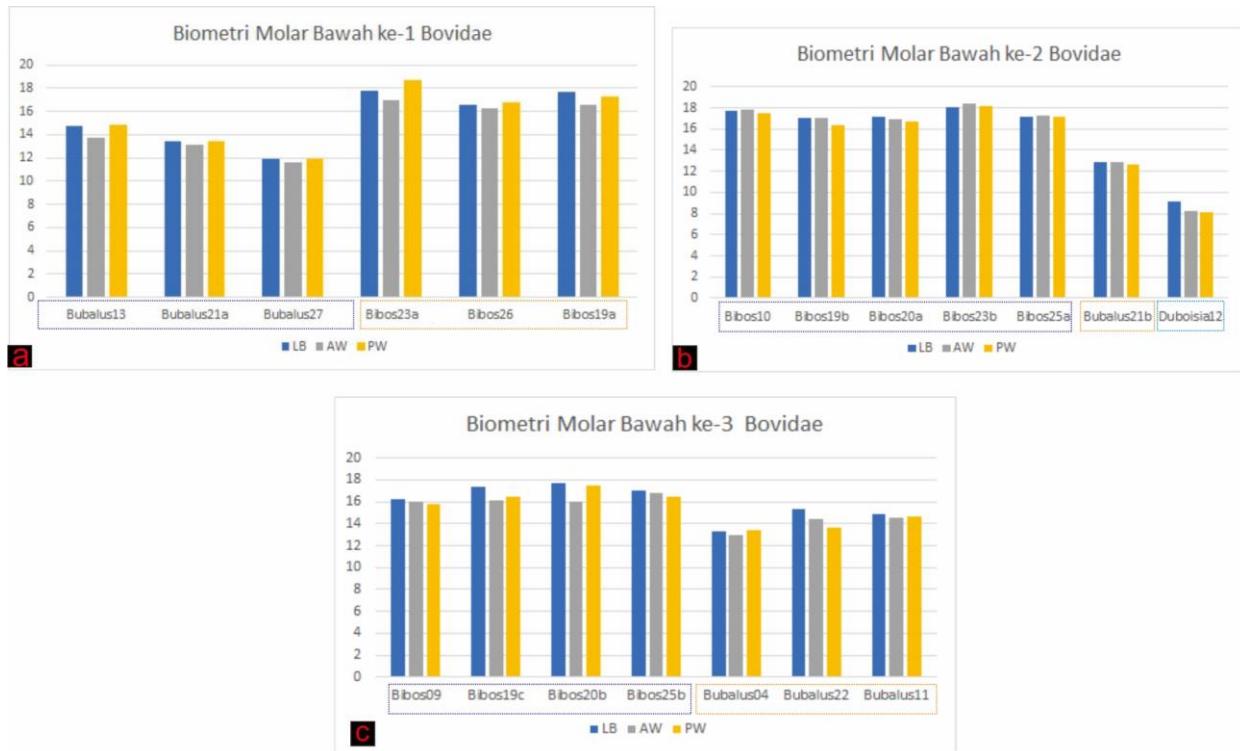
ketiganya memberi pengaruh yang signifikan dalam pengelompokan spesimen di dalam *scatter plot*.



Gambar 5. Scatter plot dan nilai *loading* biometri molar bawah (a) M₁, (b) M₂, dan (c) M₃ Bovidae.

Scatter plot PC1 terhadap PC2 pada **Gambar 5** menampilkan pengelompokan spesimen berdasarkan kemiripan biometri molar bawah yang merepresentasikan kedekatan taksa. Pada ketiga *scatter plot* biometri molar bawah (a. M₁, b. M₂, dan c. M₃), spesimen dari taksa *B. paleosondaicus* umumnya menempati PC1 positif, sedangkan *B. palaeokerabau* menempati PC1 negatif. Spesimen dari *D. santeng* berada di PC1 negatif namun terpisah jauh dari *Bubalus*.

Pada komponen 1 (PC1), nilai *loading* parameter biometri LB, AW, dan PW berperan besar dalam mengelompokkan spesimen-spesimen molar bawah Bovidae. **Gambar 6** merupakan grafik perbandingan panjang LB, AW, dan PW pada masing-masing spesimen M₁, M₂, dan M₃. Ketiga grafik menunjukkan bahwa molar bawah *B. paleosondaicus* memiliki LB, AW, dan PW paling besar kemudian secara berurutan diikuti *B. palaeokerabau* dan *Duboisia santeng*.



Gambar 6. Perbandingan biometri nilai LB, AW, dan PW pada spesimen M₁ (a), M₂ (b), dan M₃ (c) Bovidae.

Untuk memperkuat hasil pengamatan morfologi dan biometri maka diperlukan metode lain seperti morfometri. Metode kuantitatif tersebut menitikberatkan pada pengamatan titik anatomi tertentu yang terekam melalui data koordinat (x, y). Selanjutnya, sebelum dianalisis, perlu dilakukan operasi superimposisi terhadap data koordinat yang diperoleh. Analisis dapat dilakukan secara manual atau menggunakan metode statistik, salah satunya adalah PCA. Hasil analisisnya disajikan dalam bentuk *scatter plot* dan *wireframe*. Umumnya, komponen 1 (PC1) dan komponen 2 (PC2) dipertimbangkan untuk mewakili semua

variasi data karena memiliki kumulatif varian mendekati 95%. Oleh sebab itu, kedua komponen selalu dipakai dalam analisis morfometri.

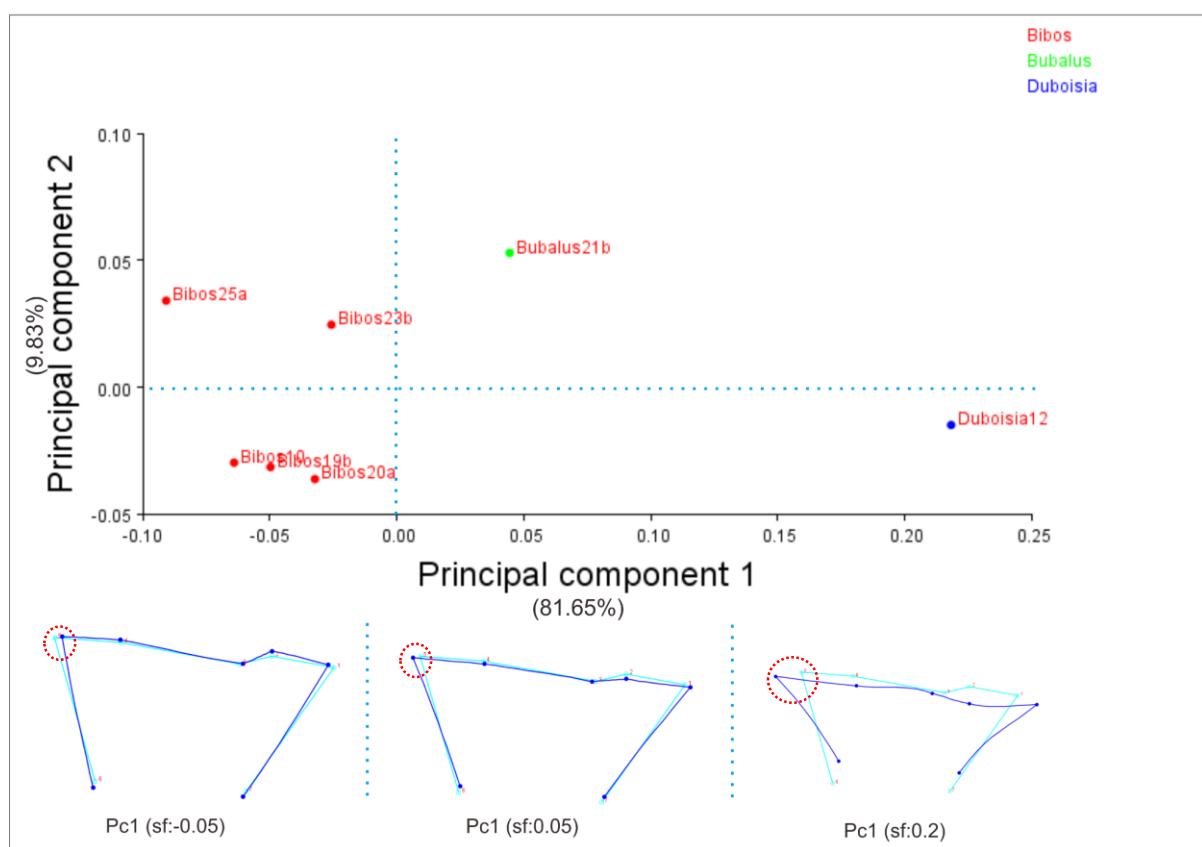
Gambar 7 merupakan *scatter plot* morfometri PC1 terhadap PC2 pada molar bawah ke-2 (M₂). Adapun **Gambar 8** merupakan *scatter plot* morfometri PC1 terhadap PC2 pada molar bawah ke-3 (M₃). *Scatter plot* tersebut memperlihatkan pengelompokan spesimen berdasarkan kemiripan morfometrinya yang menunjukkan kedekatan taksa.

Berdasarkan *scatter plot* PC1 terhadap PC2 pada M₂ (**Gambar 7**) dan *scatter plot* PC1 terhadap PC2 M₃ (**Gambar 8**), spesimen-spesimen dari taksa *B. paleosondaicus* menempati PC1 negatif, sedangkan *B. palaeokerabau* umumnya menempati PC1 positif. Adapun spesimen dari taksa *Duboisia santeng* membentuk klaster sendiri yang terpisah (terisolasi) dari kedua taksa.

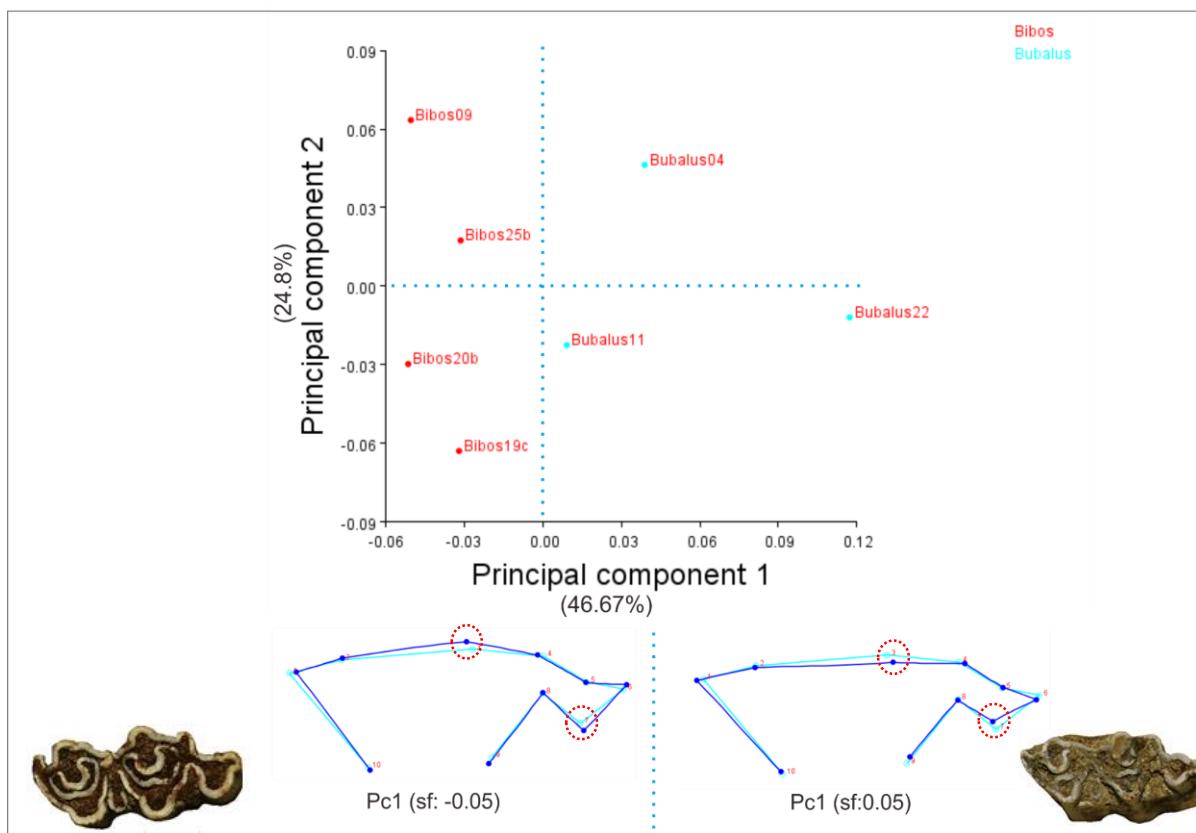
Berdasarkan *wireframe* pada **Gambar 7** dan **Gambar 8** diperoleh informasi bahwa pemisahan klaster terutama pada PC1 disebabkan oleh perbedaan transformasi titik *landmark*. **Gambar 8** menunjukkan perbedaan anatomi pada M₃ Bovidae yang ditampilkan melalui *wireframe*. Perbedaan paling jelas terletak pada *landmark* 3 dan *landmark* 7 (lingkaran berwarna merah). *Landmark* 7 merupakan bagian dari antomi *hypoconulid*. Pada molar *B. palaeokerabau*, *landmark* 7 terlihat lebih pendek (tidak lebih

menonjol) daripada milik *B. paleosondaicus*, sehingga menjadikan *hypoconulid* milik *B. palaeokerabau* tampak lebih ramping.

Untuk M₂, *wireframe* pada **Gambar 7** menunjukkan *landmark* 1 (*metastylid*) dan *landmark* 5 (*entostylid*) molar *B. palaeokerabau* lebih panjang atau melebar daripada *B. paleosondaicus*. Kebalikannya, *landmark* 2 (*metaconid rib*) dan *landmark* 4 (*entoconid rib*) molar *B. paleosondaicus* justru lebih menonjol daripada *B. palaeokerabau*. Begitupula dengan *landmark* 7 (*protoconid*) dan *landmark* 6 (*hypoconid*) pada molar *B. paleosondaicus* yang juga lebih panjang daripada *B. palaeokerabau*. Parameter yang memiliki hubungan paling erat pada PC1 adalah *landmark* *entostylid* (tanda lingkaran berwarna merah) karena memiliki nilai *loading* paling besar dibandingkan parameter lainnya.



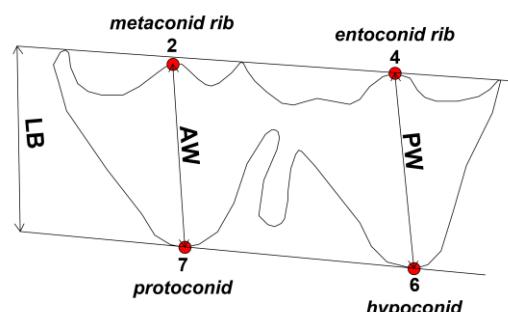
Gambar 7. *Scatter plot* PC1 terhadap PC2, *wireframe*, dan grid transformasi pada M₂ Bovidae.



Gambar 8. Scatter plot PC1 terhadap PC2, wireframe, dan grid transformasi pada M_3 Bovidae.

Masing-masing metode analisis paleontologi memiliki keterbatasan parameter, sehingga perlu dikombinasi agar saling mendukung dan melengkapi. Hasil analisis menggunakan PCA dari pengamatan biometri dan morfometri gigi molar memperkuat, mendukung, dan memperjelas kajian paleontologi. Prinsip utama dalam analisis PCA adalah menyederhanakan atau mengerucutkan sekian banyak parameter paleontologi menjadi parameter utama (terpenting) yang tersaji dalam bentuk komponen. Selain itu, analisis ini mampu mengelompokkan spesimen fosil berdasarkan kemiripan anatominya. Penyederhanaan tersebut memberi manfaat berupa efisiensi dalam analisis kuantitatif terutama yang menggunakan parameter dan spesimen dalam jumlah banyak. Sebagai contoh, terdapat 6 parameter pengukuran biometri molar Bovidae. Setelah dilakukan analisis PCA, terpilih 3 parameter utama (terpenting) yang mampu memisahkan atau mengelompokkan spesimen dalam komponen tertentu berdasarkan kemiripan biometrinya.

Berdasarkan hasil PCA, parameter biometri dengan keeratan hubungan paling kuat adalah LB, AW, dan PW. Adapun pada PCA morfometri, parameter yang sering berpengaruh umumnya adalah *landmark* 2 (titik *metaconid rib*), 4 (titik *entoconid rib*), 6 (titik *hypoconid*), dan 7 (titik *protoconid*). Antara parameter biometri dan parameter morfometri yang telah disebutkan di atas ternyata memiliki hubungan yaitu berkorelasi positif. Hubungannya dapat dilihat pada **Gambar 9** dengan uraian di bawah ini.



Gambar 9. Hubungan antara parameter biometri dan parameter morfometri pada molar bawah Bovidae.

AW pada molar *B. palaesondaicus* lebih lebar daripada milik *B. palaeokerabau*, dalam wireframe morfometri terlihat bahwa titik *metaconid rib* dan titik *protoconid* pada molar *B. palaesondaicus* juga lebih lebar daripada milik *B. palaeokerabau*. Sama halnya dengan parameter AW yang

berkorelasi positif dengan titik *entoconid rib* dan titik *hypoconid*. Untuk itu, penelitian ini mencoba mengajukan data berupa rentang lebar LB, AW, dan PW molar bawah Bovidae (**Tabel 1**) sebagai acuan dalam perbandingan anatomi untuk mempermudah dalam identifikasi taksa Bovidae.

Tabel 1. Nilai LB, AW, dan PW untuk molar bawah Bovidae

Taksa	Molar Bawah	n	Lebar (rata-rata) dalam satuan mm		
			LB	AW	PW
<i>Bubalus palaeokerabau</i>	m1	3	11.94-14.75 (13.35)	11.56-13.74 (12.80)	11.9-14.83 (13.38)
	m2	1	12.84	12.84	12.61
	m3	3	13.25-15.38 (14.51)	12.92-14.57 (13.98)	13.42-14.64 (13.91)
<i>Bibos palaesondaicus</i>	m1	3	16.6-17.82 (17.37)	16.26-17.01 (16.60)	16.76-18.74 (17.60)
	m2	5	17.02-18.12 (17.44)	17.04-18.45 (17.49)	16.42-18.19 (17.20)
	m3	4	16.2-17.76 (17.08)	16.04-16.85 (16.26)	15.76-17.52 (16.56)
<i>Duboisia santeng</i>	m2	1	9.16	8.27	8.18

Berdasarkan pengamatan morfologi, biometri, dan morfometri gigi molar, Bovidae dalam Formasi Bapang dapat diklasifikasikan menjadi 3 taksa berdasarkan kemiripan anatominya, yaitu *Bubalus palaeokerabau*, *Bibos palaesondaicus*, dan *Duboisia santeng*. Dalam penelitian ini, Formasi Bapang sementara dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan kumpulan faunanya, yaitu Bapang Bawah, Bapang Tengah, dan Bapang Atas. Bapang Bawah tersusun oleh konglomerat, batupasir silang siur, dan batulempung dengan dominasi konglomerat. Terdapat perubahan fasies secara lateral dalam posisi stratigrafi tersebut yang mengindikasikan adanya aliran sungai yang terbatas (*confined*). Pada bagian ini dijumpai fauna Bovidae dari taksa *B. palaeokerabau* dan *B. palaesondaicus*. Adapun Bapang Tengah dan Bapang Atas tersusun oleh batupasir berstruktur silang siur, konglomerat, tuf, dan batulempung dengan dominasi batupasir berstruktur silang siur yang tersebar secara multilateral. Komposisi tuf dan batupasir tufan pada Bapang Atas relatif lebih banyak daripada Bapang Tengah. Di bagian Bapang Tengah terdapat taksa *B. palaeokerabau*, *B. palaesondaicus*, dan *D. santeng*, sedangkan Bapang Atas hanya dijumpai *B. palaeokerabau* dan *B. palaesondaicus* saja. Kolom stratigrafi beserta kumpulan fauna Bovidae dapat dilihat pada **Gambar 10**.

B. palaeokerabau (kerbau) dan *B. palaesondaicus* (banteng) memiliki habitat padang rumput. Berdasarkan analisis isotop karbon pada gigi molar yang dilakukan Janssen dkk. (2016), Bovidae khususnya *Bubalus p.* merupakan tipe pemakan rerumputan. Tubuh yang sangat besar dan kekar, membuat mereka tidak leluasa bergerak di lingkungan yang ditumbuhi banyak pepohonan (hutan tertutup). Terlebih *B. palaeokerabau* memiliki tanduk yang relatif panjang sehingga pergerakannya sangat terbatas apabila harus hidup di lingkungan tersebut. Mereka umumnya hidup berkelompok, sehingga padang rumput merupakan habitat yang tepat untuk keberlangsungan hidup mereka.

Adapun *D. santeng* merupakan *forest-dweller* (Rozzi dkk., 2013; Rozzi dan Palombo, 2013), yang sering memakan dedaunan dan kadang-kadang vegetasi yang lebih keras (Rozzi dkk., 2013) mungkin tumbuhan berkayu. Binatang tersebut memiliki tubuh yang relatif kecil dengan tanduk yang pendek, sehingga pergerakannya lebih leluasa atau fleksibel. Binatang ini dapat bergerak di lingkungan yang ditumbuhi banyak pepohonan atau hutan terbuka (padang rumput). Mereka lebih memilih bertahan hidup di hutan untuk berlindung (bersembunyi) dari ancaman predator.

Berdasarkan model stratigrafinya, Bapang Bawah diinterpretasikan terendapkan di lingkungan sungai bermeander. Kumpulan fauna Bovidae pada posisi stratigrafi tersebut mengindikasikan kondisi lingkungan yang didominasi padang rumput. Bapang Tengah diinterpretasikan terendapkan di lingkungan sungai teranyam, kumpulan faunanya menunjukkan kondisi lingkungan padang rumput dan mengindikasikan keberadaan kanopi tertutup atau hutan tertutup. Bapang Atas terendapkan di lingkungan sungai teranyam, kumpulan faunanya menunjukkan kondisi lingkungan padang rumput.

Berdasarkan hasil analisis isotop karbon *paleosols* pada Fm. Bapang oleh Bettis dkk. (2009), menggambarkan kondisi lingkungan hutan terbuka (*open woodland*) dan bentuk lahan kering seperti sungai dan dataran banjir

yang didukung oleh padang rumput, semak, dan garis pepohonan yang mengikuti aliran (*channel*) sungai. Adapun menurut Brasseur dkk. (2015), berdasarkan analisis *paleosols*, kondisi lingkungan saat pengendapan Fm. Bapang adalah *channel* yang berpindah-pindah (tidak stabil), dataran banjir alluvial yang kering, volkanik lokal dengan padang rumput yang digantikan hutan musim pada Bapang Atas. Secara umum, semuanya menunjukkan lingkungan padang rumput. Artinya, selama pengendapan Fm. Bapang (Bapang Bawah, Bapang Tengah, dan Bapang Atas) seluruhnya dalam lingkungan padang rumput. Dengan demikian maka selama pengendapan Fm. Bapang yang berumur awal Pleistosen Tengah kondisi lingkungan dan klimatologisnya adalah tidak jauh berbeda.

UMUR	FORMASI	STRATIGRAFI modifikasi dari Mats'ura dkk. (2020)	PEMERIAN	FOSIL BOVIDAE	PEMUNCULAN BOVIDAE				
Pleistosen Atas	Pohajar		Breksi andesite						
Pleistosen Bawah-Pleistosen Tengah	Bapang	Atas Tengah Bawah	Didominasi batupasir: masa dasar berbutir pasir halus-kasar, fragmen berukuran kerikil-kerakal, <i>matrix supported</i> , berstruktur silangsiur planar-tabular, tidak selalu berstruktur <i>graded bedding</i> sisipan tuff dan batulempung. Didominasi konglomerat: masa dasar berbutir pasir kasar, fragmen berukuran kerikil-kerakal, <i>grain supported</i> , berstruktur <i>graded bedding</i> (kadang masif), umumnya diikuti batupasir berstruktur silangsiur. Di Ngebung dan sekitarnya terdapat batulempung setebal 3-4 meter yang menempang di atas <i>Grenzbank</i> yang dicirikan warna cokelat, struktur masif, mengandung <i>caliche</i> . <i>Grenzbank</i>	<i>Bubalus palaeokerabau</i> <i>Bibos palaesondaicus</i> <i>Bubalus palaeokerabau</i> <i>Bibos palaesondaicus</i> <i>Duboisia santeng</i> <i>Bubalus palaeokerabau</i> <i>Bibos palaesondaicus</i>	?	?	?	?	<i>Duboisia santeng</i>
Pleistosen Bawah	Sangiran		Batulempung berwarna abu-abu, strukur laminasi-perlapisan.		?	?	?	?	?

Gambar 10. Kolom stratigrafi beserta kumpulan fauna Bovidae Formasi Bapang di Sangiran.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan morfologi, biometri, dan morfometri gigi molar, Bovidae dalam Formasi Bapang dapat diklasifikasikan menjadi 3 taksa berdasarkan kemiripan anatominya, yaitu *Bubalus palaeokerabau*, *Bibos palaesondaicus*, dan *Duboisia santeng*. Dalam penelitian ini,

Formasi Bapang sementara dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan kumpulan faunanya. Bapang Bawah yang didominasi oleh konglomerat, dijumpai fauna *B. palaeokerabau* dan *B. palaesondaicus*. Dalam Bapang Tengah terdapat fauna *B. palaeokerabau*, *B. palaesondaicus*, dan *D. santeng*, sedangkan Bapang Atas hanya

dijumpai *B. palaeokerabau* dan *B. palaesondaicus* saja. Keduanya, Bapang Tengah dan Bapang Atas, didominasi batupasir berstruktur silang siur yang tersebar secara multilateral.

Berdasarkan karakter litologinya, Bapang Bawah diinterpretasikan terendapkan di lingkungan sungai bermeander, kumpulan faunanya mengindikasikan kondisi lingkungan yang didominasi padang rumput. Bapang Tengah diinterpretasikan terendapkan di lingkungan sungai teranyam, kumpulan faunanya menunjukkan kondisi lingkungan padang rumput dan terindikasi terdapat hutan tertutup. Bapang Atas terendapkan di lingkungan sungai teranyam, kumpulan faunanya menunjukkan kondisi lingkungan padang rumput. Secara umum, semuanya menunjukkan lingkungan yang didominasi padang rumput.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada BPSMP Sangiran dan PUSLIT ARKENAS atas koleksi fosilnya. Seluruh jajaran BPSMP Sangiran, Iskandar Mulia Siregar, S.Si. dan Ratna Sri Panglipur, S.S. yang telah memberi dukungan materi dan moril; Nunung Ria Nursanti, S.Si., Febri Wijanarko, S.S., Pipit Pudji Lestari, S.Si., Haris Rahmanendra, S.S., M.Sc., Pipit Meilinda, S.Hum., M.Sc., Khofif Duhari Rahmat, S.S. dan Rindy Gita, S.Hum. atas informasi, masukan, dan sarannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, I. (2018): *Konsumsi binatang oleh Homo erectus dan teknologi alat tulang pada Formasi Kabuh di Situs Sangiran*, Tesis Program Magister Arkeologi, Universitas Gadjah Mada. Tidak diterbitkan.
- Aimi, M., dan Aziz, F. (1985): Vertebrate fossils from Sangiran Dome, Mojokerto, Trinil and Sambungmacan Areas, dalam N. Watanabe dan D. Kadar, ed., *Quaternary geology of the hominid fossil bearing formations in Java*, 378 hal., Geological Research and Development Centre, Bandung-Indonesia.
- Alvarez-lao, D. J., Ballesteros, D., Rivals, F., Alvarez-Vena, A., Valenzuela, P., dan Jimenez-Sanchez, M. (2020): First occurrence of musk ox *Ovibos moschatus* in the Late Pleistocene (MIS 3) record from NW Iberia: Paleobiogeographic and paleoenvironmental implications n Alvarez-Vena, *Quaternary Science Reviews*, **238**, 106336.
- Ansyori, M. M. (2018): *Biostratigraphic significance of Sangiran Dome, Central Java, Indonesia: An insight on Animal Succession of Java during the Lower and Middle Pleistocene*, Disertasi Program Doktor Scienze Umane, Università degli Studi di Ferrara. Tidak diterbitkan.
- Bettis, E. A., Milius, A. K., Carpenter, S. J., Larick, R., Zaim, Y., Rizal, Y., Ciochon, R. L., Tassier-Surine, S. A., Murray, D., Suminto, dan Bronto, S. (2009): Way out of Africa: Early Pleistocene paleoenvironments inhabited by *Homo erectus* in Sangiran, Java, *Journal of Human Evolution*, **56**(1), 11–24.
- Bookstein, F. L. (1991): *Morphometric tools for landmark data geometry and biology*, Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge, United Kingdom.
- Bouteaux, A. (2005): *Paléontologie, paléoécologie et taphonomie des mammifères du Pléistocène moyen ancien du site à hominidés de Sangiran (Java central, Indonésie)*, Disertasi Program Doktor Departement de Prehistoirer, Museum National D'Histoire Naturelle De Paris. Tidak diterbitkan.
- Bouteaux, A., Moigne, A., Semah, F., dan Jacob, T. (2007): Les assemblages fauniques associés aux sites a *Homo erectus* du dome de Sangiran (Pleistocene moyen, Java, Indonesie), **6**, 169–179.
- BPSMP Sangiran (2014): *Laporan pemetaan geologi dan tata guna lahan Situs Manusia Purba Sangiran Kabupaten Sragen dan Kabupaten Karanganyar Propinsi Jawa Tengah*, Balai

- Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran, Sragen.
- Brasseur, B., Sémah, F., Sémah, A. M., dan Djubiantono, T. (2015): Pedo-sedimentary dynamics of the Sangiran dome hominid bearing layers (Early to Middle Pleistocene, central Java, Indonesia): A palaeopedological approach for reconstructing "Pithecanthropus" (Javanese *Homo erectus*) palaeoenvironment, *Quaternary International*, **376**, 84–100.
- Cucchi, T., Stopp, B., Schafberg, R., Lesur, J., dan Hassanin, A. (2019): Taxonomic and phylogenetic signals in bovini cheek teeth: Towards new biosystematic markers to explore the history of wild and domestic cattle, *Journal of Archaeological Science*, **109**(June), 104993.
- Driesch, A. V. Den (1976): *A guide to the measurement of animal bones from archaeological sites*, Harvard University: Peabody Museum Bulletin 1, Peabody Museum of Archaeology and Ethnology.
- Fathoni, M. R. (2021): *Kajian paleontologi Bovidae dan Cervidae Formasi Bapang Daerah Sangiran serta kaitannya dengan biostratigrafi dan rekonstruksi paleoenvironment*, Tesis Program Magister Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung. Tidak diterbitkan.
- Gruwier, B., Vos, J. De, dan Kovarovic, K. (2015): Exploration of the taxonomy of some Pleistocene Cervini (Mammalia, Artiodactyla, Cervidae) from Java and Sumatra (Indonesia): a geometric- and linear morphometric approach, *Quaternary Science Reviews*, **119**, 35–53.
- Hammer, Q., Harper, D. A. ., dan Ryan, P. . (2020): Past, Q. Hammer, Natural History Museum, University of Oslo.
- Itihara, M., Sudijono;, Kadar, D., Shibasaki, T., Kumai, H., Yoshikawa, S., Aziz, F., Soeradi, T., Wikarno;, Kadar, A. P., Hasibuan, F., dan Kagemori, Y. (1985): Geology and stratigraphy of the Sangiran Area, dalam N. Watanabe dan D. Kadar, ed., *Quaternary geology of the hominid fossil bearing formations in Java*, 378 hal., Geological Research and Development Centre, Bandung-Indonesia.
- Janssen, R., Joordens, J. C. A., Koutamanis, D. S., Puspaningrum, M. R., de Vos, J., van der Lubbe, J. H. J. L., Reijmer, J. J. G., Hampe, O., dan Vonhof, H. B. (2016): Tooth enamel stable isotopes of Holocene and Pleistocene fossil fauna reveal glacial and interglacial paleoenvironments of hominins in Indonesia, *Quaternary Science Reviews*, **144**, 145–154.
- Khan, A., Akhtar, M., dan Iliopoulos, G. (2014): Cervid remains from the Middle Siwaliks of Hasnot (Late Miocene), Pakistan, *Journal Geological Society of India*, **84**, 352–360.
- Khan, M. A., Babar, M. A., Akhtar, M., Iliopoulos, G., Rakha, A., dan Noor, T. (2015): Gazella (Bovidae, Ruminantia) remains from the Siwalik Group of Pakistan, *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, **40**(2), 182–196.
- Khurniawan, S. (2019): *Discriminating the molariform characteristic of fossil Bovidae from Java , Indonesia: A contribution of increase the resolution of faunal identification at hominin environment*, Tesis Program Magister, Faculty of Archaeology Leiden University. Tidak diterbitkan.
- Klingenberg, C. P. (2011): MorphoJ, University of Manchester, Manchester, U.K.
- Matsu'ura, S., Kondo, M., Danhara, T., Sakata, S., Iwano, H., Hirata, T., Kurniawan, I., Setiyabudi, E., Takeshita, Y., Hyodo, M., Kitaba, I., Sudo, M., Danhara, Y., dan Aziz, F. (2020): Age control of the first appearance datum for Javanese *Homo erectus* in the Sangiran area, *Science*, **367**(6474), 210–214.
- Puspaningrum, M. R. (2011): *Paleontological study of Stegodon from Sangiran and the correlation with paleoecology and biostratigraphy*, Tesis Program Magister Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung. Tidak

- diterbitkan., 1–86.
- Rohlf, F. J. (2018): tpsDig2, Stony Brook, New York, US.
- Rosyidah, M. R. (2017): *Habitat Homo erectus pada Kala Pleistosen Tengah di Jawa bagian tengah berdasarkan analisis mesowear molar Bovidae dan Cervidae dari Situs Sangiran*, Tesis Program Magister Arkeologi, Universitas Gadjah Mada. Tidak diterbitkan.
- Rozzi, R., dan Palombo, M. R. (2013): La morfologia del femore come strumento per dedurre il palaeohabitat di bovidi insulari, *Bollettino della Societa Paleontologica Italiana*, **52**(3), 177–186.
- Rozzi, R., Winkler, D. E., De Vos, J., Schulz, E., dan Palombo, M. R. (2013): The enigmatic bovid *duboisia santeng* (Dubois, 1891) from the early-middle pleistocene of java: A multiproxy approach to its paleoecology, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **377**, 73–85.
- Saeed, Z., Khan, A. M., Iqbal, A., dan Amin, M. (2018): Some New Remains of *Gazella* (Bovidae) Discovered from the Dhok Pathan Formation of the Siwaliks, Northern Pakistan, **33**(2), 113–119.
- Safitri, P. C. A. (2018): *Morfometrik wajah Suku Sunda di Kecamatan Cileungsi, Jawa Barat, Morfometrik wajah Suku Sunda di Kecamatan Cileungsi, Jawa Barat*, Skripsi Program Sarjana Departemen Biologi, Institut Pertanian Bogor. Departement de Prehistoire.
- Sémaah, F., Sémaah, A. M., Djubiantono, T., dan Simanjuntak, H. T. (1992): Did they also make stone tools?, *Journal of Human Evolution*, **23**(5), 439–446.
- Suzuki, M., Wikarno;, Budisantoso;, Saefudin, I., dan Itihara, M. (1985): Fission track ages of pumice tuff, tuff layers and javites of hominid fossil bearing formations in Sangiran Area, Central Java, dalam N. Watanabe dan D. Kadar, ed., *Quaternary geology of the hominid fossil bearing formations in Java*, 378 hal., Geological Research and Development Centre, Bandung-Indonesia.
- Webster, M., dan Sheets, H. D. (2010): A practical introduction to landmark-based geometric Morphometrics, *The Paleontological Society Papers*, **16**, 163–188.
- Wibowo, U. P. (2016): *Walking with Indonesian elephants: attribution of isolated proboscidean femurs and tibias to genus based on morphological differences*, Tesis Program Magister Departement of Science, Medicine and Health, University of Wollongong. Tidak diterbitkan.
- Widianto, H., dan Simanjuntak, T. (2009): *Sangiran menjawab dunia*, Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran, Sragen.
- Zaim, Y., Ciochon, R. L., Polanski, J. M., Grine, F. E., Bettis, E. A., Rizal, Y., Franciscus, R. G., Larick, R. R., Heizler, M., Aswan, Eaves, K. L., dan Marsh, H. E. (2011): New 1.5 million-year-old *Homo erectus* maxilla from Sangiran (Central Java, Indonesia), *Journal of Human Evolution*, **61**(4), 363–376.

Lampiran 1. Hasil pengukuran biometri gigi molar bawah Bovidae (dalam satuan mm).

No	Referensi Koleksi	Asal temuan	Litologi-Formasi	Taksa	Molar ke-	Kode spesimen	MD	LB	Rasio LB/MD	AW	PW	(AW/PW) 100
1	SNG/2015/20	Ekskavasi Bukuran 2015	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bubalus palaeokerabau</i>	M ₃	Bubalus04	37.48	13.25	0.35352	12.92	13.42	96.274217
2	GRW/2014/R1	Ekskavasi Grogolan Wetan 2014	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₃	Bibos09	39.78	16.2	0.40723	16.04	15.76	101.77664
3	GRW/2014/R2	Ekskavasi Grogolan Wetan 2014	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₂	Bibos10	28.94	17.73	0.61264	17.83	17.52	101.76940
4	GRW/2014/R3	Ekskavasi Grogolan Wetan 2014	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bubalus palaeokerabau</i>	M ₃	Bubalus11	39.66	14.91	0.37594	14.57	14.64	99.521857
5	GRW/2014/R4	Ekskavasi Grogolan Wetan 2014	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Duboisia santeng</i>	M ₂	Duboisia12	20.26	9.16	0.45212	8.27	8.18	101.10024
6	NGB/2016/Survey /29	Survey Ngebung 2016	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bubalus palaeokerabau</i>	M ₁	Bubalus13	30.28	14.75	0.48712	13.74	14.83	92.650033
7	2254a/Bov/2015	Penyelamatan temuan Mei 2015/Pucung/ Narni	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₁	Bibos19a	22.03	17.71	0.80390	16.54	17.32	95.496535
8	2254b/Bov/2015	Penyelamatan temuan/ Mei 2015/Pucung/ Narni	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₂	Bibos19b	29.39	17.02	0.57910	17.04	16.42	103.77588
9	2254c/Bov/2015	Penyelamatan temuan/ Mei 2015/Pucung/ Narni	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₃	Bibos19c	40.3	17.37	0.43101	16.13	16.51	97.698364
10	2221a/Bov/2015	Penyerahan masyarakat/ Maret 2015/ makam Sendang Bukuran/ Wakiman	Fm. Bapang?	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₂	Bibos20a	29.83	17.14	0.57458	16.92	16.71	101.25673
11	2221b/Bov/2015	Penyerahan masyarakat/ Maret 2015/ makam Sendang Bukuran/ Wakiman	Fm. Bapang?	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₃	Bibos20b	37.88	17.76	0.46884	16.05	17.52	91.609589
12	5512a/Bov/2020	Penyerahan masyarakat/ Januari 2020/Triangulasi Ngebung/ Harsono	Fm. Bapang?	<i>Bubalus palaeokerabau</i>	M ₁	Bubalus21a	22.35	13.38	0.59865	13.12	13.41	97.837434
13	5512b/Bov/2020	Penyerahan masyarakat/ Januari 2020/Triangulasi Ngebung/ Harsono	Fm. Bapang?	<i>Bubalus palaeokerabau</i>	M ₂	Bubalus21b	23.31	12.84	0.55083	12.84	12.61	101.82394
14	2503/Bov/2016	Ekskavasi penyelamatan temuan/ Januari 2016/Kardi	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bubalus palaeokerabau</i>	M ₃	Bubalus22	40.81	15.38	0.37686	14.45	13.67	105.70592
15	2513a/Bov/	Ekskavasi penyelamatan temuan/Januari 2016/GRW Manyarejo/Kardi	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₁	Bibos23a	29.26	17.82	0.60902	17.01	18.74	90.768409
16	2513b/Bov/	Ekskavasi penyelamatan temuan/Januari 2016/GRW Manyarejo/Kardi	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₂	Bibos23b	30.52	18.12	0.59370	18.45	18.19	101.42935
17	4017a/DY/2018	Ekskavasi penyelamatan temuan/Februari 2018/Pucung/ Wijiyono	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₂	Bibos25a	24.39	17.2	0.70520	17.22	17.17	100.29120
18	4017b/DY/2018	Ekskavasi penyelamatan temuan/Februari 2018/Pucung/ Wijiyono	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₃	Bibos25b	39.41	16.99	0.43110	16.85	16.46	102.36938
19	Ngb/2015/Tk2/09	Ekskavasi Ngebung 2015	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bibos palaesondaicus</i>	M ₁	Bibos26	29.15	16.6	0.56946	16.26	16.76	97.016706
20	Ngb/2015/Tk1/28	Ekskavasi Ngebung 2015	Batupasir-Fm. Bapang	<i>Bubalus palaeokerabau</i>	M ₁	Bubalus27	26.31	11.94	0.45381	11.56	11.9	97.142857

MD: medial-distal; LB: lingual-buccal; AW: lebar anterior; PW: lebar posterior

Lampiran 2. Koordinat *landmarks* gigi molar bawah Bovidae.

Koordinat *landmarks* M₂ Bovidae

Kode spesimen	landmark1	landmark2	landmark3	landmark4	landmark5	landmark6	landmark7	Skala
Bibos10	4191,00000	3867,00000	3601,00000	2729,00000	2322,00000	2630,00000	3725,00000	0,016693
	2571,00000	2667,00000	2575,00000	2614,00000	2557,00000	1512,00000	1578,00000	
Duboisia12	3602,00000	3269,00000	3062,00000	2687,00000	2260,00000	2592,00000	3220,00000	0,018645
	2262,00000	2260,00000	2337,00000	2366,00000	2392,00000	1980,00000	1912,00000	
Bibos19b	4102,00000	3735,00000	3503,00000	2415,00000	1970,00000	2177,00000	3338,00000	0,012270
	2387,00000	2507,00000	2437,00000	2725,00000	2749,00000	1558,00000	1377,00000	
Bibos23b	3720,00000	3380,00000	3250,00000	2644,00000	2304,00000	2532,00000	3329,00000	0,022655
	2986,00000	2974,00000	2938,00000	3013,00000	3001,00000	2222,00000	2292,00000	
Bibos20a	4123,00000	3693,00000	3427,00000	2491,00000	2080,00000	2349,00000	3375,00000	0,012856
	2471,00000	2621,00000	2556,00000	2721,00000	2721,00000	1663,00000	1517,00000	
Bubalus21b	3864,00000	3351,00000	3189,00000	2427,00000	1947,00000	2332,00000	3308,00000	0,011098
	2542,00000	2581,00000	2437,00000	2531,00000	2638,00000	1715,00000	1752,00000	
Bibos25a	3048,00000	2786,00000	2693,00000	2169,00000	1921,00000	2070,00000	2768,00000	0,020844
	2423,00000	2464,00000	2373,00000	2459,00000	2463,00000	1759,00000	1766,00000	

Koordinat *landmarks* M₃ Bovidae

Kode spesimen	landmark1	landmark2	landmark3	landmark4	landmark5	landmark6	landmark7	landmark 8	landmark 9	landmark 10	Skala
Bubalus11	1842,00000	2310,00000	3190,00000	3614,00000	3803,00000	4155,00000	3747,00000	3538,00000	3186,00000	2426,00000	0,001988
	2875,00000	2823,00000	2839,00000	2771,00000	2555,00000	2459,00000	2355,00000	2511,00000	2173,00000	2177,00000	
Bibos20b	2194,00000	2538,00000	3719,00000	4393,00000	4842,00000	5134,00000	4824,00000	4470,00000	3990,00000	2945,00000	0,001224
	2571,00000	2745,00000	2973,00000	2934,00000	2577,00000	2537,00000	2135,00000	2537,00000	1831,00000	1748,00000	
Bibos25b	2535,00000	2812,00000	3416,00000	3825,00000	4072,00000	4309,00000	4105,00000	3843,00000	3594,00000	2935,00000	0,002080
	2337,00000	2418,00000	2511,00000	2430,00000	2355,00000	2316,00000	2135,00000	2255,00000	1919,00000	1795,00000	
Bibos09	1437,00000	1864,00000	2666,00000	3240,00000	3489,00000	3886,00000	3468,00000	3164,00000	2811,00000	1944,00000	0,019192
	3051,00000	3097,00000	3089,00000	2990,00000	2828,00000	2868,00000	2477,00000	2825,00000	2240,00000	2249,00000	
Bibos19c	1941,00000	2203,00000	3578,00000	4168,00000	4770,00000	4952,00000	4687,00000	4341,00000	3794,00000	2587,00000	0,012986
	2371,00000	2568,00000	2879,00000	2765,00000	2674,00000	2648,00000	2150,00000	2386,00000	1744,00000	1584,00000	
Bubalus22	3004,00000	3297,00000	4007,00000	4387,00000	4532,00000	4615,00000	4433,00000	4285,00000	4064,00000	3371,00000	0,025483
	2856,00000	2916,00000	2818,00000	2826,00000	2739,00000	2646,00000	2614,00000	2687,00000	2458,00000	2404,00000	
Bubalus04	1842,00000	2310,00000	3190,00000	3614,00000	3803,00000	4155,00000	3747,00000	3538,00000	3186,00000	2426,00000	0,002083
	2875,00000	2823,00000	2839,00000	2771,00000	2555,00000	2459,00000	2355,00000	2511,00000	2173,00000	2177,00000	