

Kajian Literatur Evolusi Kuda: Perubahan Kaki Dan Perubahan Gigi Kuda Berdasarkan Penemuan Fosil

Nafasya Rahmandini¹, Nashwa Intana Putri², Virna Fianarita Rahmawati³

¹⁻³ Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung

Alamat: Jalan A.H. Nasution No. 105, Cipadung, Cibiru, Kota Bandung, Jawa Barat 40614

Email: rahmandininafasya@gmail.com¹, nshwintnap10@gmail.com², rahmavirna12@gmail.com³

Abstract. Evolution is characterized by changes over time with one or more inherited traits that we often find in populations of organisms. Fossils themselves can be said to be traces/remains/marks of a life of an organism (animal/plant) that can be directly or indirectly preserved with the earth's crust, naturally occurring and usually solid/hard with a geological age of more than 11,000 years. Horse evolution is one of the interesting adaptations, with morphological changes related to environmental changes. The purpose of this study was to determine the evolution of horses from the fossils found and, to find out how to adapt and the changes that occur from the environment and factors of natural selection. The method used in this study is a literature review from several reference sources. Horse evolution shows how species can adapt to the environment through significant morphological changes, such as a reduction in the number of fingers and an increase in body size. and the role of natural selection in forming physical characteristics that support survival.

Keywords: Evolution, fossils, horses, adaptation.

Abstrak. Evolusi itu ditandai dengan adanya perubahan dari waktu ke waktu dengan satu atau lebih sifat yang terwariskan dan sering kita temukan dalam populasi organisme. Fosil sendiri bisa dikatakan sebagai jejak/sisa/bekas dari suatu kehidupan dari organisme (hewan/tumbuhan) yang secara langsung ataupun tidak langsung bisa terawetkan dengan lapisan kulit bumi, secara alami terjadi dan biasanya padat/ keras dengan umur geologi lebih dari 11.000 tahun. Evolusi kuda merupakan salah satu adaptasi yang menarik, dengan adanya perubahan secara morfologi yang berhubungan dengan perubahan lingkungan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui evolusi dari kuda dari fosil yang ditemukan dan, untuk mengetahui bagaimana beradaptasi dan perubahan yang terjadi dari lingkungan maupun faktor dari seleksi alam. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kajian literatur dari beberapa sumber referensi. Evolusi kuda menunjukkan bagaimana spesies dapat beradaptasi dengan lingkungan melalui perubahan morfologi yang signifikan, seperti pengurangan jumlah jari dan peningkatan ukuran tubuh. dan peran dari seleksi alam berperan dalam membentuk karakteristik fisik yang mendukung kelangsungan hidup.

Kata Kunci: Evolusi, fosil, kuda, adaptasi.

1. LATAR BELAKANG

Kehidupan akan terus berjalan, terutama dialam Semesta ini. Alam semesta ini akan terus mengalami perubahan dan perkembangan, adanya proses perubahan dan perkembangan inilah yang dinamakan dengan evolusi. Menurut Jeniarto (2014), salah satu perkembangan terakhir dalam dunia sains yaitu bertambahnya penerimaan pandangan tentang alam yang sudah mengalami proses perubahan itu atau yang dikenal dengan evolusi. Tidak hanya alam semesta yang mengalami perubahan, tetapi makhluk hidup juga termasuk kedalam bagian alam yang akan mengalami evolusi. Adanya beberapa teori pada bidang sains yang diikuti dengan bukti-bukti, pengamatan atau sebuah eksperimen yang bisa memperkuat pandangan keberadaan dari evolusi alam. Benarkah evolusi terjadi? Sebuah

pertanyaan yang selalu mengundang banyak pendapat dan pandangan yang akhirnya sulit diterima dengan semua golongan. Adanya teori evolusi ini sering timbul perdebatan terutama oleh golongan beragamaan karena ini bertentangan dengan kitab suci yang mereka yakini. Dengan adanya kemunculan serta pengembangan dari teori evolusi ini tidak bertujuan untuk membuat manusia ini justru meragukan kitab suci dalam agamanya akan tetapi bisa memperkuat keyakinan dari kebenaran sudut pandang agamanya. Seorang peneliti juga menyatakan bahwa teori evolusi ini tidak bertentangan dengan nilai agama manapun, keterbatasan ilmu pengetahuanlah yang menjadi alasan perdebatan tentang evolusi ini sering terjadi. Dan dengan seiring berjalannya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, teori evolusi juga ikut serta dalam perkembangan ilmu dan teknologinya sesuai dengan masanya. Dimasa evolusi modern seperti saat ini sudah banyak sarana yang kita akses dengan mudah dengan konsep-konsep yang menunjang kemajuan dari teori evolusi. Kemajuan nya itu seperti dalam bidang genetika, biokimia dan molekuler yang ikut menghadirkan konsep-konsep yang mendorong dengan perkembangan dari teori evolusi terkhusus dalam menggambarkan materi genetic dari fosil-fosil yang ditemukan pada lapisan bumi tertentu (Muhammad, 2019).

2. KAJIAN TEORITIS

Evolusi itu ditandai dengan adanya perubahan dari waktu ke waktu dengan satu atau lebih sifat yang terwariskan dan sering kita temukan dalam populasi organisme. Terjadinya sebuah evolusi jika didalamnya ada variasi sifat yang diwariskan dalam populasi. Faktor-faktor ada nya variasi itu ada mutasi, rekombinasi genetic dan aliran gen (gene flow). Dengan evolusi ini menunjukkan telah terbentuknya keanekaragaman dari makhluk hidup yang berasal dari nenek moyang yang sama. Istilah dari evolusi juga bisa kita artikan sebagai perubahan dari komposisi genetic dari suatu populasi turun-menurun (Ferry dkk, 2019).

Didalam penelitian Jeniarto (2014), juga mengatakan bahwa evolusi ini ialah perubahan yang terlihat dan akan terjadi secara terus menerus yang mempunyai unsur yang sifatnya mirip dan searah. Adanya teori evolusi ini tidak hadir di jaman sekarang, bukan dari ciptaan yang baru dari sains modern, tetapi teori dari evolusi ini sudah ada dari jaman Yunani Kuno. Dari jaman Yunani Kuno ini lah yang sudah mempunyai pemikiran tentang evolusi sesuai dengan objek dan pengamatan yang mereka tekuni.

Keberadaan mamalia juga melewati proses evolusi. Dimulai dari mamalia yang muncul pada zaman Trias yang diperkirakan dari 200 juta tahun yang lalu yang diperkirakan

oleh para ilmuwan. Dikatakan bahwa mamalia ini berevolusi dari sejenis reptil yang searah dengan evolusi dinosaurus juga berasal dari jenis reptil purba. Perubahan dari reptil menjadi mamalia ini sejajaran yang halus, dimana dikuatkan dengan adanya fosil sebagai bukti dengan sejumlah perantara, Besarnya kemiripan dari anatomi membuat sulit untuk memilih sehingga dikatakan “inilah sebagai mamalia pertama”. Perbedaan yang dimiliki salah satunya ada pada kerangka penting yang dimiliki keduanya yaitu di telinga dalam, jika pada reptile ini hanya mempunyai satu tulang dan pada mamalia ini mempunyai tiga tulang, ini yang menjadi penguat untuk menjangkau frekuensi serta ke sensitivitas telinga yang mereka miliki (Ayu,2020). Awal mula muncul nya mamalia ini dengan adanya kehadiran dari *Sinapsida* yang ada pada 300 juta tahun lalu, *sinapsida* ini merupakan nenek moyang awal dari mamalia yang muncul di periode karbon. Pada nenek moyang ini mereka mempunyai ciri khas dengan berupa lubang Tunggal yang berada di tengkorak belakang mata (*Fenestra temporal*) sebagai pendukung dari otot rahang yang kuat. Evolusi dari *sinapsida* ke *Terapsida* sekitar 260 juta tahun yang lalu, ada di periode Permian yang memiliki kemiripan lebih tinggi pada mamalia ciri cirinya yaitu mempunyai postur tubuh yang lebih tegak, gigi yang terdiferensiasi (gigi taring, gigi seri, gigi geraham) dan struktur gigi rahang yang lebih sederhana, salah satu contoh dari *terapsida* ini *Cynodont* sebagai kelompok yang penting pada proses peralihan ke mamalia. Mamalia sejati sendiri muncul di 200 juta tahun yang lalu atau pada Trias akhir, ciri yang dimiliki dari mamalia sejati mempunyai rahang bawah yang tersusun dari satu tulang besar (dentary) dan tulang kecil lainnya yang mulai bergeser ke bagian dari telinga tengah, adanya kelenjar susu yang berfungsi untuk menyusui serta memiliki bulu ditubuh untuk insulasi. Sekitar 65 juta tahun yang lalu dimana kepunahan dari dinosaurus di akhir periode kapur, mamalia ini menjadi kelompok dominan yang ada didarat dengan mulai berkembang dengan pesat dan berada diberbagai habitat diantaranya ada *Monotermata* mereka bertelur contohnya ada platypus dan echidna. Ada di habitat *Marsupiala* mereka berkantung contohnya ada kanguru dan koala. Dan ada di habitat *Plasentalia* contohnya ada paus kucing dan termasuk ke manusia. Selain itu didalam 65 juta tahun terakhir ini mamalia terus mengalami perkembangan dengan adaptasi yang dimilikinya.

Pengertian fosil sendiri ialah sisa tulang belulang dari organisme hidup seperti binangan atau tumbuhan dari zaman purba yang membatu arau tertanam dibawah lapisan tanah. Yang bisa dikatakan sebagai fosil apabila benda tersebut memenuhi syarat seperti: Benda ini merupakan sisa organisme yang secara alamiah terawetkan, dan umumnya

mempunyai berat yang padat/kompak/dan keras. Selain itu juga bahan ini mempunyai kadar oksigen yang sedikit serta berumur lebih dari 10.000 tahun (Suly dkk, 2017).

Berasal dari kata latin, yaitu *fossilis*, yang mempunyai arti menggali atau mengambil sesuatu dari bahan/ batuan (Nuruzzaman dkk, 2019). Fosil sendiri bisa dikatakan sebagai jejak/sisa/bekas dari suatu kehidupan dari organisme (hewan/tumbuhan) yang secara langsung ataupun tidak langsung bisa terawetkan dengan lapisan kulit bumi, secara alami terjadi dan biasanya padat/ keras dengan umur geologi lebih dari 11.000 tahun. Syarat untuk bisa dikatakan sebagai fosil itu merupakan sisa organisme, yang terawetkan secara alamiah, padat/keras/kompak dan mempunyai umur sekitar lebih dari 11.000 tahun. Membahas tentang fosil tidak akan jauh dengan makna dari fosilisasi. Fosilisasi sendiri merupakan sebuah proses yang melibatkan penimbunan hewan atau tumbuhan didalam sedimen yang bisa tertimbun dan mengalami pengawetan baik seluruh atau hanya bagian tubuh dan jejaknya. Fosil sendiri digunakan untuk melihat atau menentukan umur relatif dari batuan, menentukan hubungan batuan dengan tempat satu dan lain, menentukan keadaan dari lingkungan dan sebuah ekologi ketika batuan yang mengandung fosil ini terbentuk, dan yang terakhir fosil ini juga bisa digunakan untuk mengetahui evolusi dari makhluk hidup.

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan yaitu metode deskriptif atau metode yang mendeskripsikan atau memberikan gambaran dalam suatu pengamatan serta kajian literatur dengan mengumpulkan sumber data dari jurnal yang didapatkan dari berbagai situs seperti *Google Scholar* dan *Researchgate*.

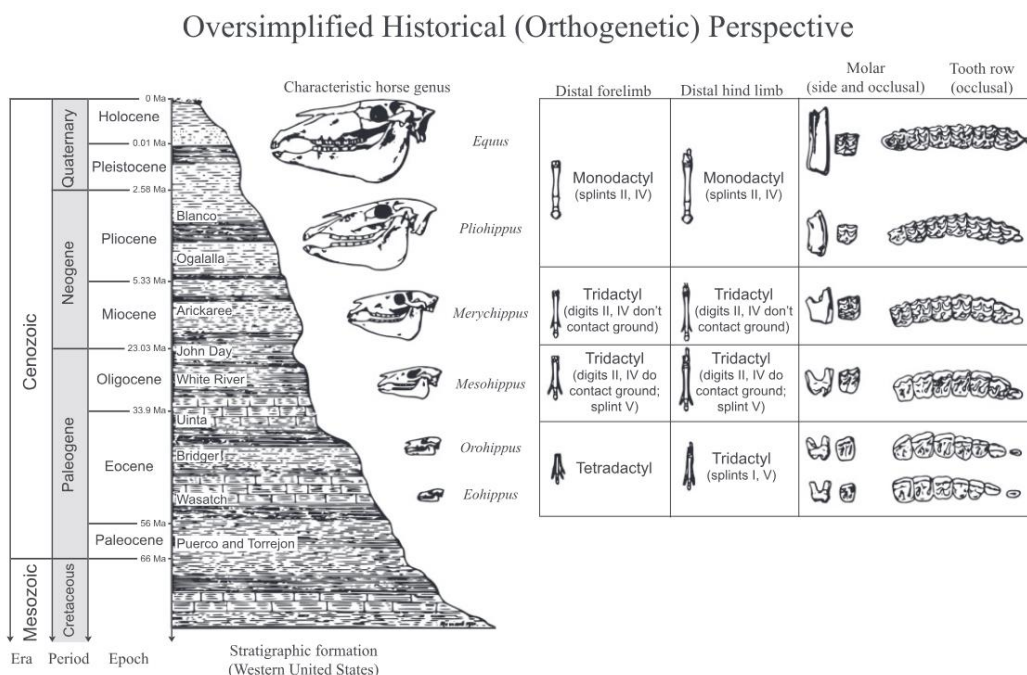
Pada penelitian Solounias dkk (2018) dilakukan dengan menyiapkan dua specimen *Equus* yang didapatkan dari Ward's Natural Science yang difiksasi dalam formalin dan dibekukan. Dengan menggunakan panjang tulang paha dan perkiraan panjang ubun-ubun kepala, spesimen janin dapat diperkirakan usia kehamilannya. Dengan menggunakan gergaji pita, ujung-ujung spesimen janin dipotong melintang dari metakarpal proksimal ke falang distal. Bagian-bagian ini terdiri dari ujung proksimal metakarpal III, ujung distal metakarpal III yang dekat dengan ujung metakarpal II dan IV, ujung proksimal falang proksimal, ujung proksimal falang tengah, dan ujung proksimal falang distal. Irisan tipis bagian ini diwarnai dengan pewarnaan hematoksilin dan eosin (H&E). Ini dilakukan dengan protokol standar, yang menghasilkan slide mikroskop.

Penelitian McHorse dkk (2017) melakukannya dengan tiga skema metode, yaitu a) specimen dan geometri internal, yang menggunakan metapodial dewasa dari 12 genus fosil kuda; b) scenario dan kondisi pemuatan dilakukan untuk memperkirakan tekanan tulang dengan dua skema yaitu gerak maju normal, stabil (dengan perkiraan berlari pelan) serta gerak maju dengan akselerasi cepat atau lompatan; c) pembengkokan balok untuk memperkirakan tegangan pada metapodial poros tengah dengan perhitungan dan rumus.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fosil pertama kuda ditemukan di Amerika Utara pada era Eo-sen yakni sekitar 55 juta tahun yang lalu atau 10 juta tahun setelah kepunahan dinosaurus karena adanya perubahan iklim. Sedangkan menurut pendapat lain fosil kuda ditemukan di lapisan sedimen pada awal periode tersier selama rentang waktu yang sering disebut dengan *Eosen*. Permulaan kuda berawal dari hewan yang berukuran kecil seperti kelinci yang disebut juga *Hyracotherium* yang berarti hewan seperti kelinci atau dikenal juga dengan *The Dawn Horse (Eohippus)* (Dixon, 2017). Pada famili Equidae yang masih bertahan hingga saat ini terdiri dari enam spesies pada genus *Equus* yakni salah satunya adalah kuda. Sedangkan pada catatan fosil kuda 58 juta tahun terakhir yang ditemukan terdapat hampir 50 genus dengan spesies mencapai ratusan. Penemuan fosil kuda mempunyai peranan penting dalam mendukung teori evolusi Drwin dan sintesis modern. OC Marsh mengumpulkan sejumlah besar fosil kuda di tahun 1870-an. Koleksinya kemudian disusun menjadi kumpulan kuda berukuran kecil hingga besar, berjari tiga hingga berjari satu, gigi mahkota rendah hingga gigi bermahkota tinggi. Setelah melihat rangkaian evolusi yang diusulkan ini, TH Huxley, penulis "Darwin's Bulldog", menulis ulang pidato yang akan diajukan di Akademi Sains New York untuk menyertakan fosil kuda ini sebagai bukti evolusi. Pada saat itu, pandangan umum tentang evolusi adalah ortogenesis atau "perkembangan" evolusi dalam garis lurus menuju beberapa bentuk ideal serta susunan kuda ini mendukung gagasan ini. Oleh karena itu, kisah klasik tentang evolusi kuda dimulai dari hutan yang digantikan oleh padang rumput sehingga kuda beradaptasi mengembangkan ukuran tubuhnya menjadi lebih besar (untuk pertahanan diri dari predator), gigi bermahkota lebih tinggi untuk mencerna rumput kasar, serta perubahan anggota badan menjadi monodaktil (bertelapak kaki Tunggal) untuk proteksi diri dari predator dengan lingkungan yang terbuka (McHorse dkk, 2019).

Proses perkembangan kuda masih merupakan salah satu dari beberapa tingkat "kemajuan", mulai dari hewan kecil dengan banyak jari kaki dan gigi sederhana bermahkota rendah hingga hewan besar dengan satu jari kaki dan gigi kompleks bermahkota tinggi. Dalam evolusi, beberapa garis keturunan yang tidak memiliki hubungan langsung dengan kuda modern telah hilang. Dua garis keturunan ini bermigrasi dari Amerika Utara ke Old World sebelum migrasi *Equus* pada masa Pleistosen: anchitheriina (hewan pemakan serangga berbadan besar dan khusus) pada awal Miosen, dan di akhir Miosen hipparionina (lebih dekat kekerabatannya dengan *Equus* dan mirip dengan kuda modern dalam banyak hal, tetapi bersifat tridaktil) (Janis & Bernor, 2019).

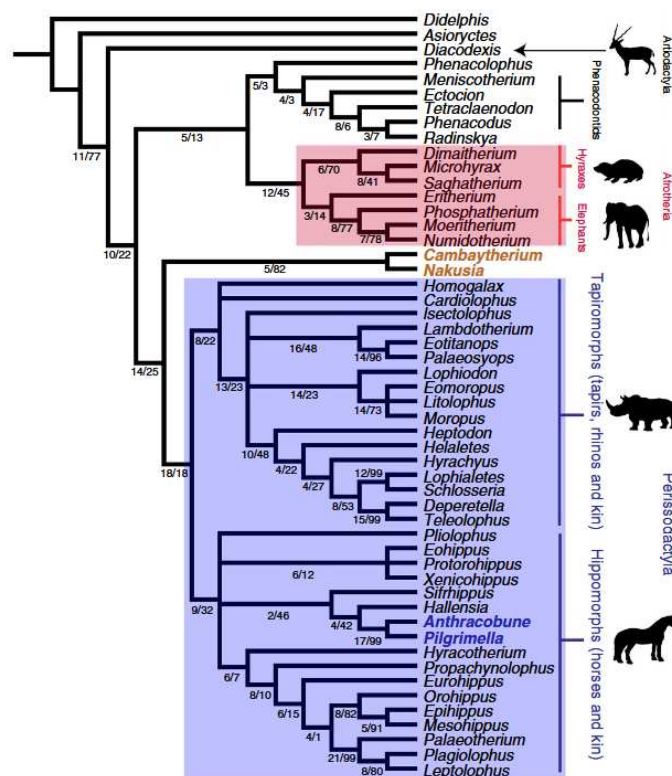


Gambar 1. Perkembangan linear kuda (dari kecil ke besar, dari banyak jari kaki ke satu jari kaki, dari gigi bermahkota rendah ke gigi bermahkota tinggi), sebuah pandangan yang mendominasi narasi awal tentang evolusi kuda (Matthew dalam McHorse dkk, 2019).

Dari sekian banyak fosil yang ditemukan, yang paling lengkap sebagai petunjuk perubahan kuda yang ditemukan oleh *Marsh dan Osborn*. Berikut dibawah ini perubahan kuda menurutnya yaitu sebagai berikut : a). Tubuh yang bertambah semakin besar, b). Leher yang semakin Panjang, c). Kepala yang semakin besar, d). jarak anatara ujung mulut hingga mata menjadi jauh, e). Perubahan pada geraham depan dan belakang, dan f), Adanya reduksi jari kakmi dari lima menjadi satu (Jannah, 2018).

A. Perubahan kaki kuda

Kuda termasuk ke dalam kelompok perissodactyla yakni berkuku ganjil. Pada Perissodactyla, kaki berevolusi untuk mendukung gaya hidup yang lebih beradaptasi dengan kecepatan dan lari (cursorial locomotion). Mereka memiliki struktur kaki yang disebut "mesaxonic," di mana berat badan terutama didistribusikan melalui jari tengah (jari ketiga). Perubahan ini mencakup pengurangan jumlah jari dan perkembangan tulang metapodial yang lebih panjang dan ramping, memungkinkan gerakan yang lebih efisien untuk berlari. Sebaliknya, pada Artiodactyla, kaki berevolusi menjadi "paraxonic," di mana berat badan didistribusikan secara merata di antara dua jari tengah (jari ketiga dan keempat). Adaptasi ini memungkinkan mereka untuk berjalan lebih stabil di berbagai jenis medan. Selain itu, struktur kaki mereka sering kali lebih pendek dan lebih kuat dibandingkan Perissodactyla, yang mencerminkan gaya hidup yang lebih beragam, termasuk berjalan di tanah lunak atau berlumpur (Rose dkk, 2004).



Gambar 2. Filogenik Perissodactyla dan Artiodactyla (Rose dkk, 2014).

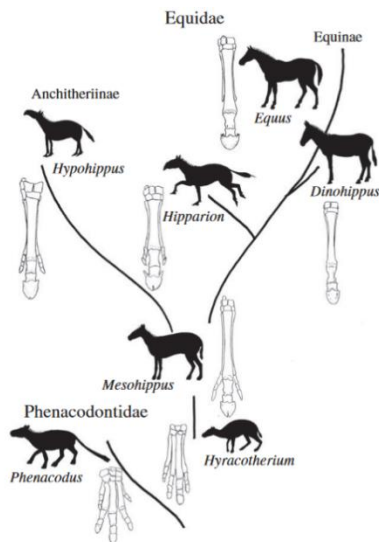
Pohon filogenetik menunjukkan bahwa Artiodactyla dan Perissodactyla adalah bagian dari kelompok Laurasiatheria, tetapi mereka memiliki jalur evolusi yang terpisah. Perissodactyla (kuda, badak, tapir) lebih dekat dengan kelompok seperti Phenacodontidae, sedangkan Artiodactyla (sapi, rusa, babi) memiliki hubungan yang lebih dekat dengan kelompok lain dalam Laurasiatheria. Analisis filogenetik

menggunakan data morfologi dan molekuler menunjukkan bahwa Perissodactyla dan Artiodactyla tidak membentuk kelompok monofiletik bersama, melainkan berevolusi dari nenek moyang yang lebih jauh dalam Laurasiatheria (Rose dkk, 2014).

Garis keturunan kuda memiliki reduksi jari terbesar, yang menghasilkan tungkai depan monodactyl pada kuda. Pada awal evolusi kuda, hyacotherium memiliki empat metakarpal. Di mana jari-jarinya berkurang menjadi tiga, Mesohippus adalah takson utama berikutnya yang umum. Dari Oligosen Awal hingga Pleistosen, banyak kuda tridactyl muncul di Hyracotherium. Kuda Amerika Utara dan Dunia Lama mengalami radiasi adaptif. Pada akhirnya, kuda modern dengan tungkai satu jari lengkap (III) dengan jari belat yang berkurang (II dan IV) adalah keturunan dari kuda tridactyl tertentu. Monodaktili terjadi dua kali dalam garis keturunan kuda. Pertama terjadi pada Miosen, dengan evolusi Dinohippus yang menghasilkan kuda modern. Selain itu, dalam evolusi konvergen dalam garis keturunan Pliohippus dan Astrohippus, kuda berjari tunggal yang sekarang tidak lagi ada. Thoatherium liptotern, sejenis ungulata yang punah dari Miosen di Amerika Selatan, juga mengalami penurunan menjadi satu jari kaki lengkap. Karena panjang tungkai kuda meningkat seiring dengan pengurangan jari-jari mereka, setiap langkah kuda lebih panjang. Monodaktili memungkinkan trot trot, ciri khas kuda modern. Kuda dikenal sebagai pemakan rumput, dan tungkai yang disesuaikan untuk gaya trot yang lebih cepat membantu mereka bergerak di padang rumput. Struktur keseluruhan tungkai kuda mencegah fleksi dan pronasi, yang merupakan karakteristik utama pergerakan kuda. Penyederhanaan tangan kuda menjadi satu jari lengkap juga meningkatkan stabilitas tungkai dengan mengurangi jumlah sendi yang ada (Solounias dkk, 2018)

Gambar 3. Pohon evolusi anatomi rangka tungkai depan distal (Solounias dkk, 2018).

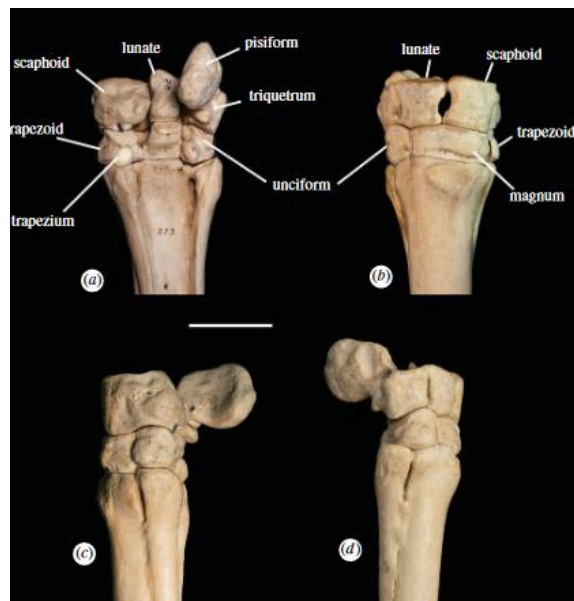




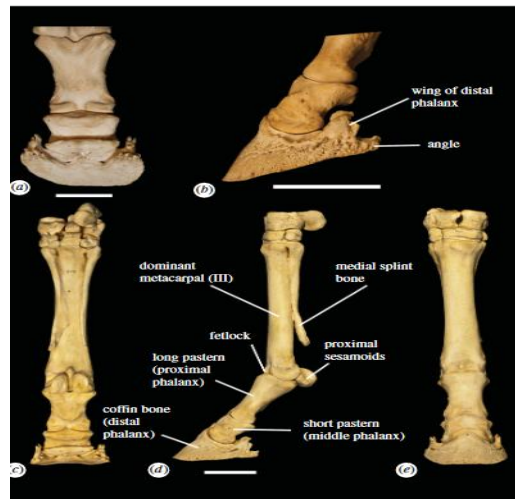
Gambar 4. Foto metakarpal beberapa taksa yang telah punah dalam pandangan ventral.

(a) *Hyracotherium* (MCZ VPM-3440) dan (b) *Mesohippus* (AMNH 1195). (c)

Dinohippus (AMNH 11635) (Solounias dkk, 2018).



Gambar 5. Rangka pergelangan tangan Equus, (a) ventral, (b) dorsal, (c) medial dan (d) lateral (Solounias dkk, 2018).



Gambar 6. Anatomi rangka tungkai depan distal *Equus*. (a) Falang tengah dan distal dalam pandangan ventral. (b) Falang tengah dan distal dalam pandangan medial, yang menggambarkan sudut dan sayap. (c) Tungkai depan distal dalam pandangan ventral. (d) Tungkai depan. (e) Tungkai depan distal dalam pandangan dorsal (Solounias dkk, 2018).

Kondisi monodaktili ditunjukkan oleh kuda modern dan keturunannya, anggota turunan dari suku *Equini*. Mereka kehilangan jari medial dan lateral (jari dua dan empat, dengan ujung proksimal metapoda disebut "tulang belat") dan hanya mempertahankan satu jari (jari ketiga). Karena kuda adalah satu-satunya spesies yang masih hidup dan tersebar luas secara biogeografis selama Pleistosen (berasal dari Amerika Utara hingga Amerika Selatan serta Old World, meskipun saat ini punah di Dunia Baru), monodaktili dianggap sebagai adaptasi lokomotor pamungkas dalam evolusi kuda (meskipun kuda modern kadang-kadang memiliki jari tambahan sebagai atavisme). Selain itu, monodaktili telah dianggap terkait dengan ukuran tubuh yang lebih besar dari famili *Equus* karena hewan ini biasanya lebih besar daripada kerabat tridaktilnya di Amerika Utara; spesies modern berkisar antara 200 dan 400 kilogram, dengan beberapa spesies yang punah mencapai 600 kilogram. Namun, *Hipparionini* dari Dunia Baru dan Old World berasal dari radiasi bentuk tridaktil yang beragam, lebih beragam secara taksonomi pada Miosen akhir daripada garis keturunan monodaktil *Equini* yang muncul, dan banyak *hipparionin* dari Dunia Lama berukuran sama besar atau lebih besar daripada anggota *Equini* modern dan fosil (Janis & Bernor, 2019).

Berat badan yang semakin bertambah mengakibatkan adanya tekanan poros tengah yang terus berkurang sesuai dengan peningkatan massa tubuh kuda. Hal ini berbeda dengan hewan vertebrata lainnya dari tikus hingga gajah yang menunjukkan

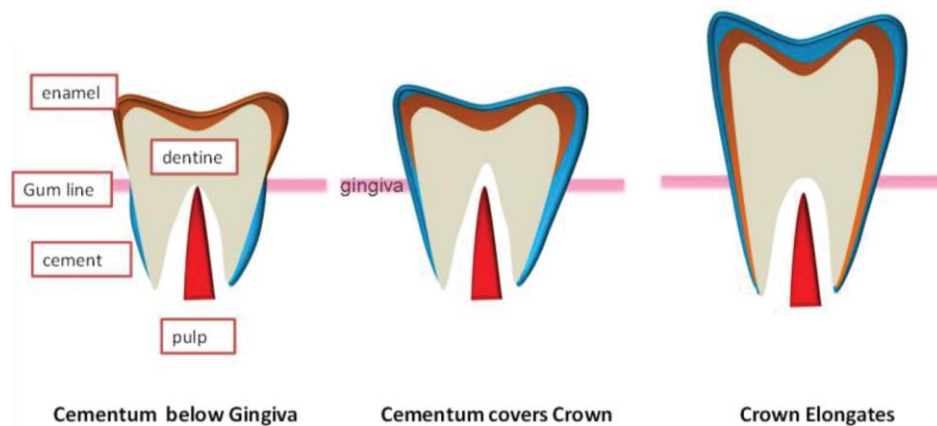
bahwa faktor keamanan anggota badan yang sama terlepas dari massa tubuh. Pola ini dijelaskan oleh perubahan geometri internal. Ketahanan terhadap kompresi aksial dan pembengkokan pada metapodial ketiga menunjukkan alometri positif yang kuat pada garis keturunan yang sama. Ketika massa tubuh meningkat, tekanan total selama penggerak berkurang seiring dengan luas penampang dan momen luas kedua. Karena jari-jari samping berkurang dan massa tubuh meningkat, perubahan postur pada sudut gaya reaksi metapodial ke tanah juga dapat mempengaruhi faktor keamanan. Pada kuda yang lebih tua, postur tubuh yang kurang tegak mungkin karena sudut gaya reaksi tanah yang lebih besar menyebabkan tekukan momen yang lebih besar dan kekuatan otot yang lebih besar (McHorse dkk, 2017).

Reduksi jari dapat dikatakan sebagai hasil seleksi alam bahwa serigala memerlukan kecepatan tinggi untuk melarikan diri dari predator di padang rumput terbuka, dengan jari-jari yang lebih pendek pada tungkai yang memanjang. Namun, sekitar 20 juta tahun kemudian, banyak ungulata, termasuk kuda, mengembangkan tungkai yang lebih panjang dan jari-jari yang lebih pendek daripada predator pengejar kecepatan tinggi seperti serigala. Terdapat tiga hipotesis yang memperkuat adanya evolusi pada jari kuda, antara lain:

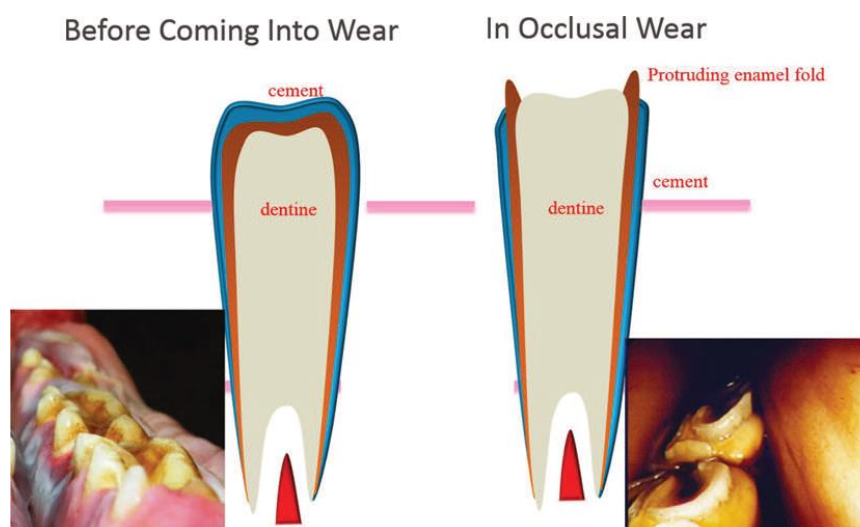
- 1) Hipotesis ekonomi lokomotor. Jarak tempuh yang sangat jauh dibutuhkan untuk mengakses sumber daya yang tidak merata pada lingkungan padang rumput terbuka dan kering, sehingga postur tubuh yang memanjang mengurangi biaya energi lokomotor dengan meningkatkan panjang langkah. Selain itu, untuk mengurangi biaya energi adanya pengurangan massa di tungkai distal dengan menurunkan momen inersia.
- 2) Hipotesis stabilitas. Di tanah lunak, hutan memerlukan gerakan menghindar lateral, sedangkan padang rumput memerlukan gerakan lurus berkecepatan tinggi di tanah keras. Hipotesis stabilitas substrat lunak menyebabkan kaki tridaktil beradaptasi untuk stabilitas dalam menghindar lateral di tanah lunak, dan hipotesis stabilitas/kecepatan substrat keras menyebabkan kaki monodaktil beradaptasi untuk stabilitas dalam menghindar lateral di tanah keras. Kecepatan kaki monodaktil di tanah keras bergantung pada kuku yang kaku dan sistem tendon-ligamen yang masih ada, mirip dengan pegas pada kuda.
- 3) Hipotesis ukuran tubuh. Dengan meningkatnya massa tubuh, anggota tubuh memiliki gaya tekuk yang lebih besar. Satu jari, dengan ukuran total yang sama, menahan gaya tekuk yang lebih besar daripada beberapa jari yang lebih kecil (McHorse dkk, 2019).

B. Perubahan gigi kuda

Perubahan gigi kuda akan mendapatkan konsekuensi dari perubahan pola makan dari mengonsumsi makanan yang bergizi dan sederhana, mungkin akan hanya beberapa jam sehari kuda akan mengonsumsinya dan akan memakan makanan yang rendah kalori dan berserat dan mengandung banyak partikel silikat pada tanaman yang sangat keras atau sering disebut dengan *Filolit*. Pada saat terjadinya perpanjangan gigi makanan akan relative lebih cepat (1-3 hari tergantung pada ukuran partikel) melalui usus kuda yang memerlukan area permukaan yang bebas pada selulosa agar dapat dicerna secara efektif. Selanjutnya, pada masa perubahan gigi adaptif akan semakin cepat peningkatan panjang gigi pada kuda dan akan meningkatkan keausan yang terjadi disebabkan oleh makanan abrasif yang terdapat pada gambar 5 dan gambar 6 (Suske, 2016).



Gambar 7. Diagram yang menggambarkan evolusi gigi hipsodont. Diagram di sebelah kiri menunjukkan gigi brakidon dengan mahkota klinisnya yang tertutup email (coklat) dan semua semen (sementum) (biru) yang terletak di bawah oklusal. Gambar tengah menunjukkan sementum yang sekarang menutupi mahkota klinis. Gambar kanan menunjukkan mahkota, yang sekarang tertutup sepenuhnya oleh email dan sementum (permukaan oklusal hipsodont primer) yang memanjang (Scott Pirie dalam MacFadden BJ, 2014).



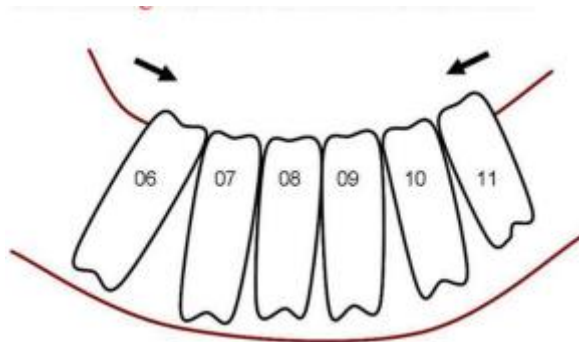
Gambar 8. Diagram pemanjangan gigi lebih lanjut. Dengan pemanjangan lebih lanjut, gigi sekarang menjadi hypsodont. Saat erupsi, mahkota klinis sepenuhnya ditutupi email dengan sementum di atasnya, yaitu permukaan hypsodont primer (gambar permukaan primer gigi pipi mandibula neonatal di sebelah kiri). Begitu gigi mulai aus, sementum dan email pada permukaan oklusal cepat terkikis sehingga memperlihatkan tonjolan email pada permukaan oklusal hypsodont permanen (gambar gigi pipi mandibula dewasa di sebelah kanan). lipatan email menonjol di antara sementum dan dentin yang lebih lunak, dalam mekanisme penajaman sendiri (Scott Pirie dalam MacFadden BJ, 2014).

Dapat dilihat pada gambar 7, Gigi yang akan memanjang akan mengalami erupsi, pada mahkota klinis ia akan sepenuhnya ditutupi oleh coklat dan sementum diatasnya, yaitu permukaan hipsodont primer yang berada pada sebelah kiri. Begitupun pada gigi aus, sementum dan coklat pada permukaan oklusal akan cepat terkikis sehingga dapat terlihat tonjolan coklat pada bagian permukaan lipatan coklat yang berada diantara sementum dan dentil yang lunak dalam penajamannya sendiri yang berada pada sebelah kanan (Kennedy, 2016).

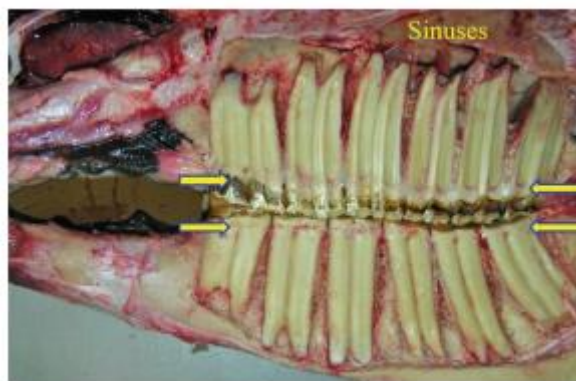
Gigi kuda-kuda purba ini mengembangkan berbagai adaptasi evolusi untuk mengatasi perubahan pola makan yang besar ini. Perubahan gigi adaptif ini mencakup peningkatan panjang gigi (hypsodontis) untuk mengatasi pengunyahan yang berkepanjangan (Gambar 7) dan dengan demikian meningkatkan keluasan yang disebabkan oleh makanan abrasif. Terjadi pendalaman rahang secara bersamaan untuk mengakomodasi gigi yang lebih panjang ini. Mereka juga mengembangkan erupsi gigi yang berkepanjangan (sepanjang sebagian besar hidup mereka) (yang berbeda dari erupsi

gigi terus-menerus) pertumbuhan gigi sepanjang hidup yang terjadi pada hewan pengerat yaitu, gigi anelodontis) untuk mengimbangi tingkat keausan gigi yang tinggi seperti yang disebutkan di atas. Oleh karena itu, tidak seperti gigi brachydont di mana hanya akar yang terletak di bawah gingiva, dengan seluruh mahkota terbuka di rongga mulut, kuda mengembangkan gigi dengan sebagian besar mahkota berbaring di bawah gingiva pada kuda muda sebagai mahkota cadangan, dengan yang lebih pendek Meletus atau mahkota klinis terekspos di rongga mulut. Perubahan lebih lanjut (seperti pada banyak gigi herbivora lainnya) adalah gigi kuda menjadi kurang berbentuk bulat/lonjong dengan gigi pipi atas kuda menjadi lebih persegi dan lebih lebar daripada gigi pipi bawah berbentuk persegi panjang (Kennedy, 2016).

Perubahan evolusi lainnya adalah pola gigi yang lebih standar dari empat gigi geraham depan dan tiga gigi geraham depan berubah, dengan gigi geraham depan pertama menjadi sisa atau tidak ada (“gigi serigala”). Yang menarik adalah bahwa pada tapir, perissodactyl lain (bersama dengan badak), dan juga kerabat kuda, gigi geraham depan pertama tetap sebagai gigi geraham depan berukuran penuh. Tiga gigi geraham depan kuda yang tersisa bertambah besar dan menjadi identik dengan gigi geraham depan yaitu, suatu proses yang disebut molarisasi premolar, dengan kehilangan giginya (erodonti). Seperti yang disebutkan di atas, Triadan 06 – 08 (premolar) dan tiga molar (Triadan 09 hingga 11) secara kolektif disebut sebagai gigi pipi (Dixon PM, 2014).



Gambar 9. Diagram yang mengilustrasikan sudut rostro-kaudal dari mahkota cadangan dan klinis gigi pipi mandibula muda. Gigi pipi kaudal, yaitu mahkota klinis Triadan 10 dan 11 miring ke arah rostral (mesial), sedangkan mahkota klinis Triadan 06 miring ke arah kaudal (distal). Gaya erupsi dari gigi pipi rostral dan kaudal harus menjaga permukaan oklusal dari keenam gigi pipi agar tetap rapat (Istvan Gere dalam Marshall R, 2014).



Gambar 10. Kepala kuda dewasa muda yang dibedah sebagian ini menunjukkan Panjang mahkota gigi pipi yang besar. anak panah menunjukkan arah gaya dari erupsi gigi pipi rostral dan kaudal yang berkelanjutan (Istvan Gere dalam Marshall R, 2014).

Karena alasan yang tidak diketahui, mungkin untuk memanjangkan kepala agar memungkinkan visualisasi predator yang lebih baik saat mencari makan/berburu, beberapa hewan primitif termasuk nenek moyang kuda, mengembangkan ruang antara gigi seri/taring dan gigi pipi, yang disebut diastema fisiologis atau "palang mulut." Hal ini pada gilirannya memerlukan pengembangan evolusi lebih lanjut yaitu, sudut kaudal mahkota klinis gigi pipi pertama (Triadan 06) yang menekan permukaan oklusal gigi pipi ke arah kaudal; jika tidak, semua gigi pipi akan miring ke arah rostral akibat gaya gigi pipi kaudal (Gambar. 8 dan 9) (Borkent, 2016).

Untuk meningkatkan fungsi pengunyahannya, rahang atas kuda dan gigi pipi atas mereka menjadi lebih berjauhan dibandingkan mandibula dan gigi pipi bawah (anisognathia). Perbedaan ini lebih terlihat pada gigi pipi bagian ekor, dengan barisan gigi rahang atas rata-rata 23% lebih lebar daripada barisan gigi rahang bawah dan lebih lagi pada keledai. Lima sudut oklusal gigi pada kuda lebih tinggi dibandingkan gigi brakidon bahkan sejak lahir, namun tidak semuanya memiliki sudut 15° seperti yang diperkirakan (Borkent, 2016).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Sesuai dengan hasil pembahasan diatas dikatakan bahwa evolusi kuda ini merupakan salah satu contoh bagaimana organisme beradaptasi terhadap lingkungan yang memberikan dampak besar terutama perubahan dalam bentuk fungsi dari tubuh hewan. Pertama kali fosil kuda ini ditemukan itu di amerika utara pada periode Eosen sekitar 55 juta tahun yang lalu, yang merupakan bukti adanya proses yang Panjang dari evolusi kuda yang berukuran kecil

seperti kelinci hingga menjadi hewan yang besar seperti sekarang. *Hyracotherium* merupakan leluhur dari kuda yang mempunyai ukuran yang kecil dari mulai adanya empat jari dan seiring berjalan waktu dan adanya seleksi alam yang berkembang menjadi bentuk dengan ukuran yang lebih besar dan berkurangnya jumlah jari menjadi satu (monodaktili) yang merupakan ciri khas dari kuda dimasa modern. Seiring berjalannya waktu perubahan fisik dari kuda itu adanya peningkatan dari ukuran tubuh, Panjang leher, serta perubahan bentuk kepala. Salah satu bentuk adaptasi yang sangat terlihat itu ada pada struktur kakinya dimulai dari jari-jari samping yang berkurang kemudian hanya satu jari yang bertahan sehingga memungkinkan kuda ini dengan mudah bergerak lebih cepat di padang rumput terbuka sebagai habitat untuk berkembang kuda ini. Selain jari adanya juga pada pemjangan tungkai, evolusi dari gigi kuda yang mempunyai peran untuk pola makan. Perubahan fisik yang terjadi merupakan bentuk adaptasi yang mempunyai hubungan erat dengan kebutuhan untuk menghindari predator di lingkungan yang terbuka dan keras. Penemuan fosil kuda yang mengungkapkan berbagai perubahan fisik ini memiliki kontribusi besar terhadap pengembangan teori evolusi Darwin, yang menunjukkan bahwa perubahan bertahap dan seleksi alam dapat membentuk spesies dalam jangka waktu yang sangat panjang. Dan secara keseluruhan adanya evolusi kuda ini memberikan Gambaran yang jelas tentang bagaimana si organisme atau spesies ini beradaptasi dengan berbagai faktor seperti adanya perubahan lingkungan atau seleksi alam yang bisa mempengaruhi dari bentuk baik fisik ataupun perilaku, seperti pengurangan jari, pengembangan gigi dan adaptasi dari beberapa bagian tubuh yang lainnya. Proses-proses inilah yang menunjukkan bahwasannya organisme ini mampu untuk bertahan hidup bahkan berkembang walaupun harus dihadapi dengan tekanan dari lingkungan salah satunya sebagai salah satu faktor yang paling berpengaruh. Semoga jurnal terkait fosil dan evolusi lebih banyak lagi ditemukan, terutama pada jurnal Indonesia.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada UIN SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Ibu Muhimatul Umami, M. Si selaku dosen pengampu mata kuliah Evolusi yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan arahan yang berharga. Tidak lupa, kami juga mengapresiasi rekan-rekan serta keluarga yang senantiasa memberikan motivasi dan doa sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

DAFTAR REFERENSI

- Ayu, N., & Niken, N. (2020). *Evolusi mamalia, manusia dan tumbuhan*. Palu: Universitas Tadulako.
- Borkent, D., Reardon, R. J. M., McLachlan, G., et al. (2016). An epidemiological survey on the prevalence of equine peripheral dental caries in the United Kingdom and possible risk factors for its development. *Equine Veterinary Journal Online*. <https://doi.org/10.1111/evj.12610>
- Dixon, P. M., Froydenlund, T., Luiti, T., et al. (2015). Empyema of the nasal conchal bulla as a cause of chronic unilateral nasal discharge in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 47(4), 445–449.
- Ferry, J., et al. (2019). Pengetahuan mahasiswa Institut Agama Islam Negeri Kerinci tentang teori asal usul manusia. *Bioeduca: Journal of Biology Education*, 1(1), 12–17.
- Janis, C. M., & Bernor, R. L. (2019). The evolution of equid monodactyly: A review including a new hypothesis. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 119.
- Jeninarto, J. (2014). Gagasan evolusi makhluk hidup: Sebuah tinjauan ringkas dan refleksi. *Jurnal Filsafat*, 24(2), 134–147.
- Kennedy, R. S., & Dixon, P. M. (2016). The aetiopathogenesis of equine periodontal disease – A fresh perspective. *Equine Veterinary Education*. <https://doi.org/10.1111/eve.12563>
- MacFadden, B. J., & Pirie, S. (2014). Equine dental evolution: Perspectives from the fossil record. In J. Easley, P. M. Dixon, & J. Schumacher (Eds.), *Equine dentistry* (3rd ed., pp. 3–10). Edinburgh, UK: Saunders Elsevier.
- Marshall, R., Shaw, D. J., Dixon, P. M., & Istvan, G. (2014). A study of sub-occlusal secondary dentine thickness in overgrown equine cheek teeth. *Veterinary Journal*, 193(1), 53–57.
- Martin, P. D. (2017). Evolusi kuda dan evolusi kedokteran gigi kuda. *Kuliah Terkini Frank. J. Milne. Prosiding AAEP*, 63.
- McHorse, B. K., Biewener, A. A., & Pierce, S. E. (2017). Mechanics of evolutionary digit reduction in fossil horses (Equidae). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1861), 20171174.
- McHorse, B. K., Biewener, A. A., & Pierce, S. E. (2019). The evolution of a single toe in horses: Causes, consequences, and the way forward. *Integrative and Comparative Biology*, 59(3), 638–655.
- Muhammad, L. T. (2019). Teori evolusi Darwin: Dulu, kini, dan nanti. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 2(3), 98–102.
- Nuruzzaman, et al. (2019). *Geologi*. Yogyakarta: Uin Sunan Kalijaga Yogyakarta.

- Rose, K. D., Holbrook, L. T., Rana, R. S., Kumar, K., Jones, K. E., Ahrens, H. E., et al. (2014). Early Eocene fossils suggest that the mammalian order Perissodactyla originated in India. *Nature Communications*, 5(1), 5570.
- Solounias, N., Danowitz, M., Stachtaris, E., Khurana, A., Aram, M., Sayegh, M., & Natale, J. (2018). The evolution and anatomy of the horse manus with an emphasis on digit reduction. *Royal Society Open Science*, 5(1), 171782.
- Suly, S., et al. (2017). Potensi sumber daya alam fosil kayu di daerah Gorontalo. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 7(2), 172–177.
- Suske, A., Pöschke, A., Schrock, P., et al. (2016). Infundibula of equine maxillary cheek teeth: Part 2: Morphological variations and pathological changes. *Veterinary Journal*, 209, 66–73.