

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Taman Safari Prigen Jawa Timur merupakan salah satu taman safari yang terkenal di Indonesia, yang tidak hanya menjadi tempat konservasi dan edukasi satwa, tetapi juga rumah bagi berbagai spesies langka, termasuk *black buck* (*Antilope cervicapra*). *Black buck* adalah jenis antelop yang memiliki nilai konservasi tinggi dan sering menjadi objek penelitian serta perlindungan di taman safari karena statusnya yang rentan di habitat aslinya. Keberadaan *black buck* di Taman Safari Prigen memberikan peluang untuk melakukan studi dan penanganan medis terhadap berbagai kondisi kesehatan yang dialami oleh satwa ini, termasuk cedera tulang seperti fraktur (Anderson dan Smith, 2020).

Fraktur pada hewan, khususnya pada satwa liar seperti *black buck*, merupakan masalah kesehatan yang serius karena dapat mengganggu mobilitas dan kelangsungan hidup hewan tersebut (Fürst dan Jackson, 2023). Fraktur *metatarsal* merupakan salah satu jenis fraktur yang sering terjadi pada hewan berkaki empat dan dapat disebabkan oleh trauma atau kecelakaan bagian *metatarsus* kaki belakang. Pada *black buck*, fraktur *metatarsal* dapat mengakibatkan gangguan fungsi berjalan dan memerlukan penanganan khusus agar hewan dapat pulih dengan baik. Studi pada hewan lain seperti kuda menunjukkan bahwa fraktur metatarsal sering bersifat kominutif dan memerlukan perawatan intensif untuk menghindari komplikasi (Melly et al., 2025; Rannamäe et al., 2019).

Penanganan fraktur *metatarsal* pada *black buck* di Taman Safari Prigen dapat dilakukan dengan metode konservatif maupun bedah, tergantung pada tingkat keparahan fraktur. Metode bedah seperti pemasangan pelat (*plate fixation*) telah terbukti efektif pada hewan besar seperti kuda, dengan tingkat keberhasilan tinggi dalam mengembalikan fungsi dan mobilitas hewan pasca operasi (Melly et al., 2025). Selain itu, perawatan konservatif dengan immobilisasi dan pembatasan aktivitas juga dapat dilakukan terutama pada fraktur yang stabil. Keberhasilan penanganan fraktur sangat bergantung pada diagnosis yang tepat, teknik perawatan yang sesuai, serta pemantauan pasca perawatan untuk memastikan proses penyembuhan berjalan optimal (Yeomans et al., 2025; Anderson dan Smith, 2020).

Dengan demikian, penanganan fraktur *metatarsal* pada *black buck* di Taman Safari Prigen tidak hanya penting untuk kesehatan dan kesejahteraan satwa, tetapi juga mendukung upaya konservasi dan edukasi mengenai perawatan medis satwa liar. Pendekatan yang tepat dan berbasis bukti ilmiah sangat diperlukan untuk meningkatkan hasil penyembuhan dan kualitas hidup *black buck* yang mengalami fraktur. Studi dan pengalaman dari penanganan fraktur pada hewan lain dapat menjadi acuan dalam mengembangkan protokol perawatan yang efektif di lapangan (Rannamäe et al., 2019; Anderson dan Smith, 2020).

I.2. Rumusan Masalah

Bagaimana tahapan diagnosis, tindakan operasi pemasangan pin *intramedullar* dan pengobatan pada *black buck* yang mengalami *closed fracture comminuted metatarsal* di The Grand Taman Safari Prigen?

I.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mengetahui tahapan diagnosis, tindakan operasi pemasangan pin *intramedullar* dan pengobatan pada *black buck* yang mengalami *closed fracture comminuted metatarsal* di The Grand Taman Safari Prigen.

I.4. Manfaat

Tugas akhir ini bermanfaat sebagai sumber informasi klinis mengenai penanganan *closed fracture comminuted metatarsal* pada *black buck*, khususnya terkait tahapan diagnosis, pertimbangan pemilihan tindakan penanganan *closed fracture comminuted metatarsal*, serta evaluasi hasil operasinya. Selain itu, laporan ini dapat menjadi referensi praktis bagi dokter hewan dan mahasiswa dalam memahami pendekatan penanganan kasus *closed fracture comminuted metatarsal* pada *black buck*, sekaligus menambah literatur mengenai efektivitas penanganan fraktur pada *black buck*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. *Black buck*



Kingdom : Animalia
Phylum : Chordata
Class : Mammalia
Ordo : Artiodactyla
Family : Bovidae
Genus : Antelope
Spesies : *Antelope Cervicapra*

Gambar 2. *Black buck* (Velenzuela et al., 2023)

Black buck (*Antelope cervicapra*) adalah anggota keluarga *Bovidae* dan subfamili *Antilopinae* yang tersebar di India, Pakistan, Nepal, dan Uni Emirat Arab. Spesies ini menunjukkan dimorfisme seksual yang jelas, dengan jantan berwarna hitam atau coklat gelap dan betina berwarna kekuningan, serta jantan memiliki tanduk berpilin panjang sekitar 79 cm, sedangkan betina tidak memiliki tanduk. *Black buck* hidup di berbagai habitat seperti padang rumput, semak belukar, hutan tipis, dan daerah kering berduri, yang menyediakan pakan berupa rumput, daun, sereal, sayuran, dan semak (Choudhary dan Chisty, 2022; Ghaffar, 2021).

Dari segi ekologi dan perilaku, *black buck* adalah hewan diurnal yang aktif mencari makan terutama pada siang hari, meskipun kadang juga pada malam hari, dengan pola makan yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan musim. Mereka hidup berkelompok dengan ukuran kelompok yang bervariasi tergantung musim dan kondisi habitat, serta menunjukkan perilaku teritorial pada jantan selama musim kawin (Choudhary dan Chisty, 2022; Yunus dan Ilyas, 2025). *Black buck* adalah pemakan selektif yang memilih tanaman tertentu seperti *Cynodon dactylon* dan *Poa annua*, serta menghindari spesies invasif seperti *Prosopis juliflora*. Kelompok campuran jantan dan betina biasanya lebih besar dibanding kelompok tunggal jenis kelamin, dan ukuran kelompok juga dipengaruhi oleh waktu pengamatan dan tekanan lingkungan (Paudel et al., 2024; Jha dan Isvaran, 2023).

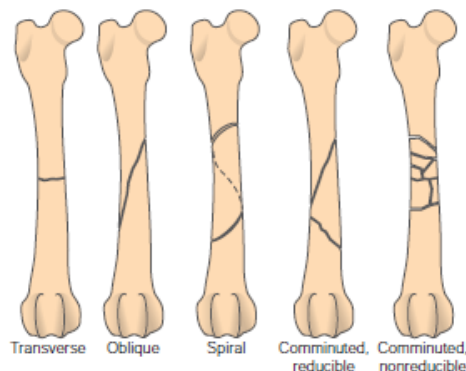
Dalam hal pemeliharaan dan konservasi, *black buck* menghadapi ancaman seperti perburuan ilegal, kehilangan habitat akibat urbanisasi dan pertanian, serta fragmentasi habitat yang mengurangi kelangsungan hidupnya (Choudhary dan Chisty, 2022). Upaya konservasi meliputi pengelolaan habitat, pengendalian spesies invasif, penangkaran, dan penggunaan teknik reproduksi buatan seperti inseminasi buatan untuk meningkatkan populasi. Studi genetik dan pembentukan pusat penyelamatan juga penting untuk menjaga keberagaman genetik dan kelangsungan spesies ini. Konservasi *black buck* menjadi prioritas di beberapa negara untuk mencegah penurunan populasi lebih lanjut (Ghaffar, 2021; Tahir, 2022).

II.2. Fraktur

Fraktur pada hewan merupakan cedera tulang yang umum terjadi akibat trauma seperti kecelakaan lalu lintas, jatuh, atau benturan keras, dan dapat melibatkan berbagai jenis tulang seperti femur, tibia, radius, dan ulna (Phillips, 1979). Proses penyembuhan fraktur pada hewan, khususnya anjing, dipengaruhi oleh faktor usia, berat badan, jenis fraktur, dan kondisi kesehatan yang mendasari, dengan fraktur kominit (tulang yang patah menjadi beberapa fragmen) menjadi salah satu yang paling kompleks dan rentan terhadap komplikasi seperti penyatuan tulang yang tertunda atau gagal sambung. Penanganan fraktur biasanya melibatkan metode osteosintesis seperti pemasangan pelat, pin *intramedullar*, atau fiksator eksternal, dengan tingkat keberhasilan penyembuhan yang bervariasi tergantung pada jenis dan lokasi fraktur serta metode pengobatan yang digunakan. Studi retrospektif pada anjing menunjukkan bahwa sekitar 72% fraktur kominit sembuh tanpa komplikasi, sementara 28% mengalami masalah seperti kegagalan implan atau penyembuhan tertunda, terutama pada fraktur terbuka dan trauma energi tinggi. Fraktur pada hewan muda lebih sering terjadi, dan jantan cenderung lebih sering mengalami fraktur dibandingkan betina. Penanganan yang tepat dan pendekatan bedah yang disesuaikan sangat penting untuk meningkatkan hasil penyembuhan dan mengurangi komplikasi pada fraktur hewan (Qi et al., 2025; Myriem et al., 2025).

a. Klasifikasi Fraktur

Klasifikasi fraktur pada hewan meliputi berbagai aspek aspek penting yang membantu dalam diagnosis dan penentuan terapi. Fraktur diklasifikasikan berdasarkan (1) integritas kulit, (2) kelengkapan patahan, (3) arah dan jumlah garis patahan, dan (4) lokasi anatomi (Fossum et al., 2013; Myriem et al., 2025).



Gambar 2. Klasifikasi fraktur berdasarkan arah patahan (Fossum et al., 2013).

Pertama (1), fraktur berdasarkan integritas kulit kemudian dibagi menjadi fraktur tertutup (*closed fracture*) dan fraktur terbuka (*open fracture*). Fraktur tertutup tidak memiliki hubungan antara area patahan tulang dengan lingkungan luar. Fraktur tertutup memiliki kulit yang utuh pada area fraktur. Fraktur terbuka terdapat luka pada kulit yang menghubungkan area patahan tulang dengan dunia luar. Fraktur ini diklasifikasikan lebih lanjut menjadi *grade I-III*. *Grade I* menunjukkan luka tusuk kecil yang disebabkan oleh tulang yang menembus keluar,

grade II menunjukkan luka kulit yang lebih besar akibat trauma eksternal dengan kerusakan jaringan yang lebih parah, dan *grade III* menunjukkan kerusakan jaringan yang lebih parah, kehilangan kulit, kerusakan saraf dan/atau pembuluh darah.

Kedua (2), fraktur berdasarkan kelengkapan patahan dibagi menjadi fraktur lengkap (*complete fracture*) dan fraktur tidak lengkap (*incomplete fracture*). Fraktur lengkap memiliki tulang yang sepenuhnya terputuh menjadi dua atau lebih fragmen. Fraktur tidak lengkap hanya memiliki garis patahan dan tidak melewati seluruh diameter tulang, seperti *greenstick fracture* dan *hairline fracture*.

Ketiga (3), fraktur berdasarkan arah dan jumlah garis patahan merupakan klasifikasi lebih lanjut dari *fracture complete*. Fraktur berdasarkan arah dan jumlah garis patahan dibedakan menjadi fraktur transversal, fraktur oblik, fraktur spiral, fraktur *comminuted* dan fraktur avulsi. Fraktur transversal memiliki garis patah yang tegak lurus dengan sumbu panjang tulang. Fraktur oblik memiliki garis patah yang miring terhadap sumbu tulang, fraktur ini dibedakan menjadi oblik pendek (≤ 45 derajat) dan oblik panjang (> 45 derajat). Fraktur spiral memiliki garis patah yang miring terhadap sumbu panjang, berbeda dengan fraktur oblik, garis patahannya melingkari sumbu tulang. Fraktur *comminuted* memiliki banyak garis patahan sehingga memiliki lebih dari dua fragmen. Fragmen ketiga dan seterusnya kemudian disebut sebagai *butterfly fragmen*, fragmen ini tidak menyatu dengan 2 fragmen utamanya. Fraktur *comminuted* selanjutnya dibagi menjadi *reducible* (dengan 3-4 fragmen besar) dan *nonreducible* (dengan >5 fragmen kecil). Fraktur avulsi adalah fraktur pada bagian perlekatan tendon atau ligamen yang tertarik dan terlepas dari tulang utama.

Keempat (4), fraktur berdasarkan lokasi anatomi dikelompokkan menurut bagian tulang yang terdampak, diklasifikasikan menjadi diafisis, epifisis, metafisis dan artikular. Fraktur diafisis terjadi “tubuh” tulang atau area tengah batang tulang. Fraktur epifisis terjadi pada ujung tulang. Fraktur metafisis terjadi pada peralihan antara diafisis dan epifisis, yang merupakan area pertumbuhan tulang pada hewan muda. Fraktur metafisis menggunakan klasifikasi lanjut *Salter-Harris tipe I-V*. Fraktur artikular merupakan fraktur yang melibatkan sendi.

b. Closed Fracture Comminuted Metatarsal

Closed fracture comminuted metatarsal pada hewan seperti *black buck* (famili *Bovidae*) adalah patahan tulang *metatarsal* yang tidak menembus kulit dan tulangnya pecah menjadi beberapa fragmen. Pada kasus hewan besar seperti kuda, fraktur kominut *metatarsal* sering terjadi di bagian proksimal dan dapat menyebabkan komplikasi tinggi, namun dengan penanganan bedah seperti *plate fixation*, banyak hewan dapat kembali berfungsi normal meskipun risiko komplikasi tetap ada (Melly et al., 2025). Pada hewan kecil seperti domba, stabilisasi internal dengan kawat *cerclage* juga dapat memberikan hasil klinis yang baik untuk fraktur *metatarsal* tertutup (Akter et al., 2022). Fraktur kominut menuntut penanganan yang hati-hati karena fragmen tulang yang banyak dan risiko

malalignment lebih tinggi dibandingkan fraktur sederhana, terutama jika dilakukan stabilisasi tertutup (Rosselló et al., 2022). Pada *black buck* atau *Bovidae* lain, prinsip perawatan fraktur *metatarsal* kominit tertutup kemungkinan serupa, yaitu memerlukan stabilisasi yang baik untuk mencegah *malunion* dan komplikasi, meskipun data spesifik pada spesies ini masih terbatas. Pendekatan bedah terbuka biasanya memberikan hasil penyembuhan yang lebih baik dibandingkan teknik tertutup dalam kasus fraktur kominit (Rosselló et al., 2022). Secara ringkas, fraktur *metatarsal* kominit tertutup pada *black buck* memerlukan stabilisasi yang tepat, dengan kemungkinan penggunaan teknik bedah terbuka untuk hasil optimal, mengingat kompleksitas patahan dan risiko komplikasi tinggi. (Melly et al., 2025; Rosselló et al., 2022; Akter et al., 2022)

II.3. Patogenesis

Fraktur *metatarsal* pada *black buck* dengan tipe *comminuted* merupakan patah tulang yang kompleks di mana tulang *metatarsal* pecah menjadi beberapa fragmen kecil akibat trauma tumpul yang kuat. Pada fraktur *comminuted*, struktur tulang mengalami kerusakan parah sehingga fragmen-fragmen tulang tidak hanya terpisah tetapi juga dapat bergeser, mengganggu fungsi penopang beban dan mobilitas kaki. Trauma ini biasanya disebabkan oleh benturan keras, seperti kecelakaan atau interaksi agresif dengan predator atau sesama hewan, yang menghasilkan pola patah seperti "*butterfly fragment*" pada tulang *metatarsal* (Chinzorig et al., 2022).

Patogenesis fraktur *comminuted metatarsal* melibatkan kerusakan langsung pada korteks tulang di bagian diafisis, yang menyebabkan pecahnya tulang menjadi beberapa fragmen dengan sedikit atau tanpa perpindahan fragmen. Kerusakan ini memicu respons inflamasi lokal yang intens, diikuti oleh pembentukan jaringan granulasi dan proses *remodeling* tulang yang kompleks. Selain itu, risiko komplikasi seperti osteomielitis (infeksi tulang) meningkat karena fragmen tulang yang tersebar dan kemungkinan luka terbuka, yang dapat menyebabkan pembentukan fistula dan gangguan penyembuhan. Proses penyembuhan pada fraktur *comminuted* lebih lambat dan sulit dibandingkan fraktur sederhana karena kebutuhan stabilisasi fragmen yang lebih rumit dan risiko infeksi yang lebih tinggi (Chinzorig et al., 2022).

Pada *black buck*, fraktur *metatarsal comminuted* dapat sangat mengganggu kemampuan berjalan dan melarikan diri dari predator, sehingga penanganan yang cepat dan tepat sangat penting. Mengingat anatomi dan kebutuhan mobilitas *black buck* yang tinggi, stabilisasi internal melalui pembedahan kemungkinan diperlukan untuk mengembalikan fungsi kaki dan mencegah komplikasi jangka panjang. Namun, data spesifik tentang patogenesis dan penanganan fraktur *comminuted metatarsal* pada *black buck* masih terbatas, sehingga pendekatan pengobatan sering mengacu pada prinsip-prinsip yang diterapkan pada hewan berkuku lain dengan fraktur serupa (Chinzorig et al., 2022).

II.4. Tanda Klinis

Tanda klinis fraktur *metatarsal comminuted* pada *black buck*, meskipun data spesifik pada *black buck* terbatas, dapat dipahami dengan merujuk pada fraktur *comminuted* pada hewan besar seperti kuda. Fraktur jenis ini biasanya menunjukkan pembengkakan lokal yang signifikan, nyeri hebat, dan deformitas akibat fragmen tulang yang banyak dan tidak stabil. Hewan yang mengalami fraktur *comminuted metatarsal* seringkali menunjukkan ketidakmampuan untuk menumpu berat badan pada kaki yang cedera, serta adanya hematoma dan kemungkinan luka terbuka jika fraktur bersifat terbuka. Komplikasi jangka panjang seperti infeksi dan penyembuhan yang tertunda juga umum terjadi, terutama pada fraktur yang terbuka dan bergeser secara aksial. Pemeriksaan radiologis sangat penting untuk menilai tingkat fragmentasi dan pergeseran tulang guna menentukan pilihan terapi, yang bisa meliputi pembedahan seperti ostektomi atau fiksasi pelat untuk stabilisasi. Penanganan yang tepat dapat meningkatkan peluang pemulihan fungsi, meskipun komplikasi pascaoperasi tetap mungkin terjadi (Vajs dan Haltmayer, 2023; Melly et al., 2025).

II.5. Diagnosis

a. Anamnesis

Metode diagnosis fraktur *metatarsal comminuted* pada *black buck* melalui anamnesa dimulai dengan pengumpulan riwayat cedera yang mencakup mekanisme trauma, seperti benturan atau jatuh, yang menyebabkan fraktur. Informasi tentang *onset* gejala seperti pembengkakan, nyeri hebat, ketidakmampuan hewan untuk menumpu kaki yang cedera, dan perubahan perilaku berjalan sangat penting untuk mengarahkan kecurigaan terhadap fraktur. Observasi klinis terhadap deformitas pada area *metatarsal* dan adanya luka terbuka juga menjadi bagian dari anamnesa yang membantu menilai tingkat keparahan cedera. Selain itu, anamnesa harus mencakup durasi dan perkembangan gejala sejak cedera terjadi untuk menentukan urgensi penanganan. Data ini menjadi dasar awal sebelum dilakukan pemeriksaan lanjutan seperti radiografi untuk memastikan diagnosis dan menentukan tipe fraktur secara tepat. Anamnesa yang teliti sangat penting untuk mengidentifikasi fraktur *comminuted* yang kompleks dan merencanakan langkah diagnostik dan terapeutik selanjutnya (Meng et al., 2022; De Chaisemartin et al., 2025).

b. X-Ray

Diagnosis fraktur *metatarsal comminuted* pada *black buck* menggunakan radiografi X-ray konvensional dilakukan dengan pengambilan gambar dari beberapa sudut, seperti proyeksi lateral dan *dorsoplantar*, untuk mengidentifikasi keberadaan fraktur dan pola fragmentasi tulang. Pada fraktur *comminuted*, radiografi konvensional menunjukkan banyak fragmen tulang yang terpisah, namun keterbatasan resolusi dan tumpang tindih struktur dapat menyulitkan deteksi fragmen kecil atau kompleks. Interpretasi citra X-ray memerlukan keahlian radiologis untuk membedakan fragmen dan menilai tingkat keparahan fraktur secara akurat. Radiografi konvensional tetap menjadi metode utama dalam

diagnosis awal karena kemudahan akses dan biaya yang relatif rendah, meskipun sensitivitasnya lebih rendah dibandingkan teknologi digital atau CT scan. Pengambilan gambar yang tepat dengan pengaturan X-ray yang optimal sangat penting untuk meningkatkan kualitas citra dan akurasi diagnosis. Meskipun demikian, radiografi konvensional memiliki keterbatasan dalam mendeteksi fraktur yang sangat halus atau tersembunyi, sehingga dalam kasus fraktur *comminuted* yang kompleks, pemeriksaan tambahan mungkin diperlukan untuk evaluasi lebih lanjut (Joshi dan Singh, 2020; Zahra et al., 2023).

II.6. Diferensial Diagnosa

Diagnosis banding untuk fraktur *metatarsal comminuted* pada *black buck* penting karena beberapa kondisi lain dapat menunjukkan gambaran radiografis yang mirip, sehingga membedakan fraktur *comminuted* dari kondisi lain sangat krusial untuk penanganan yang tepat. Fraktur *comminuted* ditandai oleh banyak fragmen tulang yang terpisah, berbeda dengan fraktur sederhana atau fraktur stres yang biasanya menunjukkan garis fraktur tunggal atau retakan halus tanpa fragmentasi luas. Selain itu, *fraktur Jones* (fraktur pada basis metatarsal kelima) dan fraktur tipe lain pada *metatarsal* dapat memiliki pola lokasi dan karakteristik radiografis yang berbeda, sehingga klasifikasi berbasis pencitraan membantu membedakan jenis-jenis fraktur ini dan memandu keputusan klinis (Saleem et al., 2025; Luo et al., 2023). Kondisi lain yang perlu dipertimbangkan sebagai diagnosis banding termasuk cedera jaringan lunak yang parah atau kelainan tulang degeneratif yang dapat menyebabkan perubahan struktur tulang yang tampak pada radiografi. Perbedaan ini penting karena fraktur *comminuted* biasanya memerlukan penanganan yang lebih kompleks dibandingkan fraktur sederhana atau cedera jaringan lunak, dan prognosinya juga berbeda. Oleh karena itu, evaluasi radiografis yang teliti dengan pengamatan pola fragmentasi, lokasi fraktur, dan keterlibatan jaringan sekitar sangat penting untuk memastikan diagnosis yang akurat dan membedakan fraktur *comminuted* dari kondisi lain yang serupa (Saleem et al., 2025; De Chaisemartin et al., 2025).

II.7. Penanganan

Penanganan fraktur *metatarsal comminuted* pada *black buck* memerlukan pendekatan bedah yang hati-hati karena banyaknya fragmen tulang yang terpisah dan risiko komplikasi tinggi. Salah satu strategi yang dapat diterapkan adalah osteotomi segmen proksimal dengan anestesi regional dan sedasi berdiri, yang bertujuan mengurangi risiko cedera *ligamen suspensori* dan infeksi implan. Fiksasi internal menggunakan pelat juga sering digunakan untuk memberikan stabilitas mekanik yang optimal pada fragmen tulang, memungkinkan penyembuhan yang lebih baik dan kembalinya fungsi anggota gerak, meskipun risiko komplikasi pascaoperasi tetap ada (Fürst dan Jackson, 2023). Pada kasus dengan kerusakan jaringan lunak yang parah, penggunaan eksternal *fixator* secara bertahap dapat membantu memperbaiki kondisi jaringan sebelum fiksasi definitif dilakukan.

Penanganan fraktur kominit tertutup pada *black buck* dengan prinsip 4R (*Recognition, Reduction, Retention, Rehabilitation*) melibatkan beberapa tahap penting. *Recognition* dimulai dengan diagnosis yang akurat menggunakan pemeriksaan klinis dan radiografi untuk menilai tingkat kerusakan dan fragmentasi tulang. Pada tahap *reduction*, fraktur *comminuted* biasanya memerlukan *open reduction* untuk mengatur fragmen tulang secara anatomis, dan pada *black buck*, penggunaan *intramedullary* pin dapat menjadi pilihan efektif untuk stabilisasi internal, seperti yang telah berhasil diterapkan pada hewan lain dengan fraktur *comminuted* (Putri et al., 2025; Deglume et al., 2025). Tahap *retention* meliputi pemasangan pin *intramedullary* yang dikombinasikan dengan metode stabilisasi tambahan jika diperlukan, seperti *external fixator*, untuk menjaga posisi fragmen tulang selama proses penyembuhan dan mengurangi risiko *malunion* atau *nonunion* (Deglume et al., 2025).

Penggunaan obat pascaoperasi meliputi analgesik (misalnya *tramadol*), antibiotik (seperti *ceftriaxone*) untuk mencegah infeksi, dan antiinflamasi (misalnya *dexamethasone*) untuk mengurangi pembengkakan dan nyeri (Putri et al., 2025). Pada tahap *rehabilitation*, penting dilakukan pembatasan beban pada anggota tubuh yang cedera dan fisioterapi bertahap untuk mengembalikan fungsi normal, dengan pemantauan berkala untuk memastikan penyembuhan tulang berjalan baik tanpa komplikasi (Li et al., 2025). Pendekatan ini menyesuaikan prinsip 4R dengan teknik *intramedullary* pin dan terapi suportif yang terbukti efektif pada hewan dengan fraktur *comminuted* tertutup, sehingga diharapkan dapat diaplikasikan pada *black buck* dengan hasil optimal.

Terapi obat menjadi bagian penting dalam manajemen fraktur ini untuk mengendalikan nyeri, inflamasi, dan mencegah infeksi. Analgesik non-steroid (NSAID) biasanya diberikan untuk mengurangi rasa sakit dan peradangan, sementara antibiotik profilaksis diperlukan terutama pada fraktur terbuka untuk mencegah infeksi tulang (*osteomyelitis*). Selain itu, suplemen nutrisi yang mendukung penyembuhan tulang, seperti kalsium dan vitamin D, dapat diberikan untuk mempercepat proses regenerasi tulang dan memperkuat struktur tulang selama masa pemulihan (Fürst dan Jackson, 2023; Blahova et al., 2021). Pemantauan ketat terhadap respons terapi obat dan kondisi klinis hewan sangat penting untuk menghindari komplikasi.

Pendekatan komplementer dengan produk alami atau herbal belum banyak diteliti secara spesifik pada fraktur *metatarsal black buck*, namun beberapa senyawa alami diketahui memiliki efek antiinflamasi dan mendukung penyembuhan jaringan. Penggunaan produk herbal harus dilakukan dengan hati-hati dan berdasarkan bukti ilmiah yang cukup, mengingat potensi efek samping dan interaksi obat. Kombinasi terapi bedah, farmakologis, dan dukungan nutrisi yang tepat dapat meningkatkan hasil penyembuhan dan fungsi jangka panjang pada fraktur *metatarsal comminuted* (Fürst dan Jackson, 2023; Blahova et al., 2021).

II.8. Penyembuhan Fraktur

Penyembuhan fraktur pada hewan berlangsung melalui tiga fase utama: inflamasi, reparasi, dan *remodeling*. Fase inflamasi dimulai segera setelah fraktur dengan pembentukan hematoma dan rekrutmen sel inflamasi untuk membersihkan jaringan rusak, berlangsung sekitar beberapa hari pertama pasca-fraktur. Fase reparasi melibatkan pembentukan kalus lunak yang kemudian berubah menjadi kalus keras melalui proses mineralisasi, biasanya berlangsung selama 2-3 minggu, di mana jaringan tulang baru mulai mengisi celah fraktur. Fase *remodeling* adalah tahap akhir yang dapat berlangsung berminggu-minggu hingga beberapa bulan, di mana tulang yang baru terbentuk diubah menjadi struktur tulang lamelar yang kuat dan fungsional, mengembalikan bentuk dan kekuatan tulang seperti semula (Nafisi et al., 2025; Schlundt et al., 2018).

Durasi total penyembuhan bervariasi tergantung pada faktor seperti usia, jenis fraktur, dan metode pengobatan; misalnya, pada tikus, penyembuhan fraktur tibia tanpa komplikasi biasanya memakan waktu sekitar 30 hari, namun terapi elektromagnetik dapat mempercepat penyembuhan hingga selesai dalam 23 hari (Kuzmina et al., 2025). Pada anjing dengan fraktur femur, penyembuhan dapat memakan waktu antara 46 hingga 73 hari tergantung pada waktu dan metode osteosintesis yang digunakan (Emanov et al., 2021). Selama proses ini, peran makrofag sangat penting, terutama subtipe M2 yang mendukung pembentukan tulang keras dan endokondral ossifikasi, sehingga keseimbangan fungsi makrofag memengaruhi keberhasilan penyembuhan (Schlundt et al., 2018). Faktor-faktor seperti penuaan dapat memperlambat proses penyembuhan dengan mengganggu angiogenesis dan meningkatkan inflamasi kronis, yang berdampak pada kualitas dan kecepatan pembentukan kalus (Menger et al., 2025). Secara keseluruhan, penyembuhan fraktur pada hewan adalah proses bertahap yang memerlukan koordinasi seluler dan molekuler yang kompleks, dengan durasi yang dapat bervariasi dari beberapa minggu hingga beberapa bulan tergantung kondisi spesifik dan intervensi terapi yang diberikan.