

Transisi Klasifikasi Gustilo–Anderson Tipe II ke IIIA sebagai Titik Kritis Peningkatan Risiko Osteomyelitis pada Fraktur Terbuka Tibia

Gustilo–Anderson Type II to IIIA Transition as a Critical Point in Osteomyelitis Risk Among Open Tibial Fractures

Muhammad Orri Baskoro^{1*}, Kemal Akbar Suryoadji², Jafri Hasan³

¹ *Fakultas Kedokteran, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia; morribaskoro@gmail.com ;

² Fakultas Kedokteran, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia; kemalakbar11@gmail.com

³ Departemen Orthopaedi dan Traumatologi, Rumah Sakit Tarakan, Jakarta, Indonesia; jafree.hasan@gmail.com
(morribaskoro@gmail.com)

ABSTRACT

Open tibial fractures are severe orthopaedic injuries with a substantial risk of infection, including osteomyelitis, which may complicate treatment and worsen outcomes. Fracture severity is commonly assessed using the Gustilo–Anderson (GA) classification, but its role in stratifying osteomyelitis risk remains incompletely defined. This study aimed to evaluate osteomyelitis risk stratification based on the Gustilo–Anderson classification in open tibial fractures. A systematic search of PubMed, the Cochrane Library, and EMBASE was conducted up to February 2026. Studies reporting osteomyelitis incidence in open tibial fractures according to GA classification were included. Data were extracted independently by two reviewers. A network meta-analysis was performed using MetaInsight software, calculating relative risks (RRs) with 95% confidence intervals (CIs), and visualized using SUCRA rankings. Five studies involving 1,134 open tibial fractures were included. Osteomyelitis prevalence ranged from 9.5% to 33%. The risk of osteomyelitis increased with higher GA grades, with a significant increase observed from GA type II to type IIIA (RR 2.86; 95% CI: 1.24–6.60). No significant risk differences were found between GA types I and II or among GA type III subtypes. Conclusion: The transition from GA type II to IIIA represents a critical threshold for osteomyelitis risk in open tibial fractures. Early GA-based classification provides important prognostic value and may guide clinical decision-making for infection prevention.

Keywords : *Open Tibial Fracture, Osteomyelitis, Gustilo–Anderson, Infection Risk*

ABSTRAK

Fraktur terbuka tibia merupakan cedera ortopedi berat dengan risiko infeksi yang tinggi, termasuk osteomyelitis, yang dapat mempersulit tatalaksana dan memperburuk luaran klinis. Tingkat keparahan fraktur umumnya dinilai menggunakan klasifikasi Gustilo–Anderson (GA), namun perannya dalam stratifikasi risiko osteomyelitis masih belum sepenuhnya terdefinisi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi stratifikasi risiko osteomyelitis berdasarkan klasifikasi Gustilo–Anderson pada fraktur terbuka tibia. Metode penelitian : Pencarian literatur secara sistematis dilakukan pada basis data PubMed, Cochrane Library, dan EMBASE hingga Februari 2026. Studi yang melaporkan insidensi osteomyelitis pada fraktur terbuka tibia berdasarkan klasifikasi GA diikutsertakan. Data diekstraksi secara independen oleh dua penelaah. Meta-analisis jaringan dilakukan menggunakan perangkat lunak MetaInsight dengan menghitung relative risk (RR) beserta interval kepercayaan (IK) 95%, serta divisualisasikan menggunakan peringkat SUCRA. Hasil penelitian menunjukkan Lima studi yang melibatkan 1.134 kasus fraktur terbuka tibia diikutsertakan. Prevalensi osteomyelitis berkisar antara 9,5% hingga 33%. Risiko osteomyelitis meningkat seiring dengan peningkatan derajat GA, dengan peningkatan bermakna pada transisi dari GA tipe II ke tipe IIIA (RR 2,86; IK 95%: 1,24–6,60). Tidak ditemukan perbedaan risiko yang bermakna antara GA tipe I dan II maupun antar subtype GA tipe III. Simpulan, Transisi dari GA tipe II ke IIIA merupakan ambang kritis risiko osteomyelitis pada fraktur terbuka tibia. Klasifikasi dini berbasis GA memiliki nilai prognostik penting dan dapat membantu pengambilan keputusan klinis dalam pencegahan infeksi.

Kata Kunci : *Open Tibial Fracture, Osteomyelitis, Gustilo–Anderson, Infection Risk*



PENDAHULUAN

Fraktur terbuka merupakan salah satu cedera berat yang dijumpai dalam trauma ortopedi, karena tidak hanya melibatkan kerusakan tulang, tetapi juga disertai kerusakan signifikan pada jaringan lunak di sekitarnya, struktur neurovaskular, serta integritas kulit. Paparan tulang terhadap lingkungan eksternal meningkatkan risiko infeksi, memperpanjang masa pemulihan, dan sering kali berujung pada berbagai komplikasi jangka panjang.¹

Tibia merupakan salah satu tulang paling sering terjadinya fraktur terbuka akibat lokasinya yang berada di bawah jaringan kulit. Sebuah studi epidemiologi pada 2.386 kasus fraktur terbuka menunjukkan bahwa tibia merupakan salah satu jenis fraktur terbuka yang paling sering.² Fraktur terbuka pada tibia bahkan berkontribusi terhadap 51,8% kasus fraktur terbuka akibat kecelakaan akibat kendaraan.³ Dibandingkan dengan fraktur tertutup, pasien dengan fraktur terbuka mengalami lama perawatan di rumah sakit yang secara signifikan lebih panjang, dengan durasi rawat inap hampir dua kali lipat.⁴ Di antara seluruh fraktur terbuka, fraktur tibia menunjukkan tingkat keparahan tertinggi, dengan nilai rerata Injury Severity Score (ISS) sebesar 13,5.²

Hubungan antara area fraktur dengan lingkungan eksternal pada fraktur terbuka meningkatkan risiko terjadinya kontaminasi area fraktur yang dapat menyebabkan terjadinya osteomyelitis.⁵ Risiko terjadinya osteomyelitis pascatrauma pada fraktur tibia terbuka dilaporkan berkisar antara 4,5% hingga 20%, menjadikannya salah satu komplikasi paling serius pada cedera ini.⁶ Osteomyelitis dapat secara signifikan menurunkan kualitas hidup pasien dengan menyebabkan nyeri kronis, penurunan status fungsional pasien, serta beban emosional dan finansial yang besar akibat rekurensi yang mencapai 30%.⁷ Selain itu, infeksi pada tibia menimbulkan tantangan bedah yang kompleks, karena meningkatkan risiko luaran yang buruk, termasuk fraktur patologis, penyatuan tulang yang tertunda (delayed union), kegagalan penyatuan (nonunion), dan pada kasus berat, hingga amputasi ekstremitas.⁸

Derajat keparahan fraktur terbuka berperan penting dalam penentuan strategi penatalaksanaan serta luaran klinis pasien, termasuk mencegah kejadian osteomyelitis. Kondisi ini mendorong pengembangan berbagai sistem penilaian untuk mengklasifikasikan fraktur secara sistematis berdasarkan karakteristik cedera yang serupa.⁹ Klasifikasi Gustilo–Anderson merupakan sistem yang sederhana dan fungsional, serta telah menjadi klasifikasi yang paling luas digunakan dalam praktik klinis untuk berbagai jenis fraktur terbuka.⁶ Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stratifikasi risiko kejadian osteomyelitis pada fraktur terbuka tibia berdasarkan klasifikasi Gustilo–Anderson sebagai dasar pertimbangan klinisi dalam menentukan tatalaksana dan prognosis pasien.

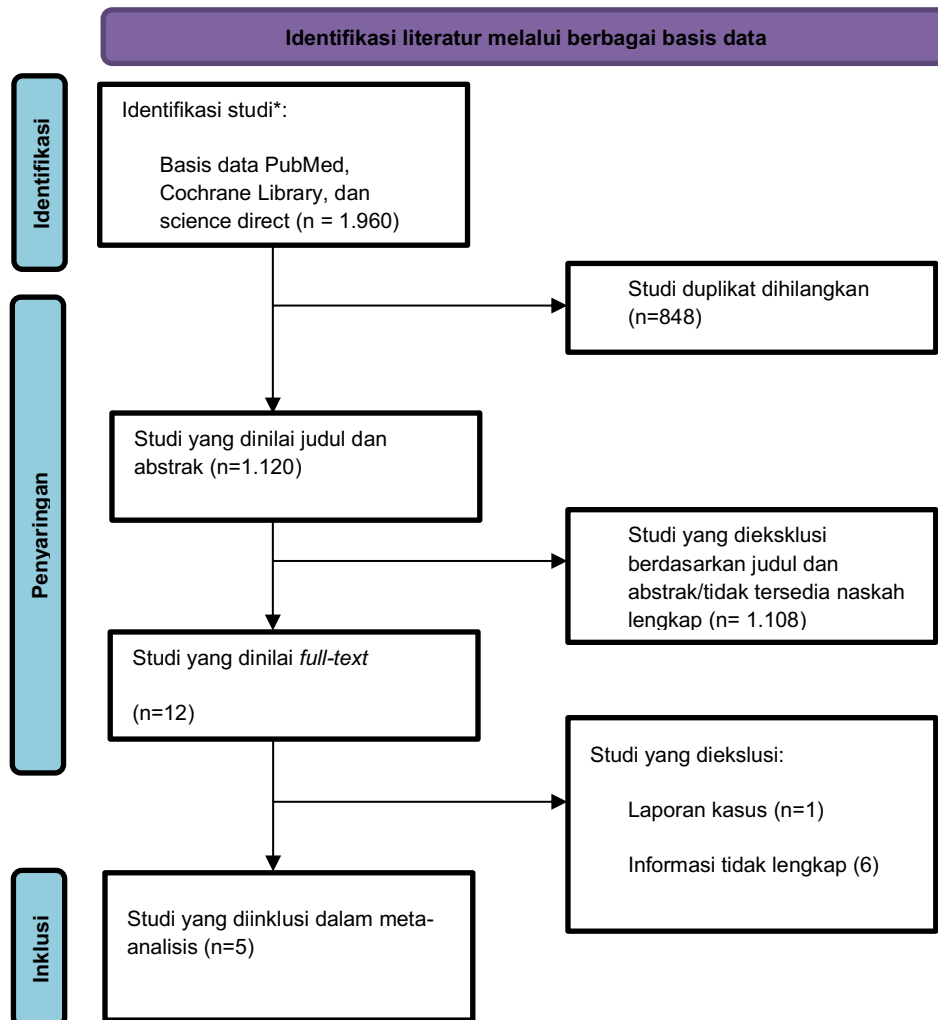
METODE

Strategi Pencarian Literatur

Protokol penelitian disusun sesuai dengan standar PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Pencarian dari basis data PubMed, Cochrane Library, dan EMBASE ditelusuri secara sistematis sejak awal pendirian masing-masing basis data hingga bulan Februari 2026. Kata kunci pencarian yang digunakan adalah (((("tibial"[MeSH Terms] OR "tibial"[All Fields]) OR ("tibia"[MeSH Terms] OR "tibia"[All Fields])) AND ("open fracture"[MeSH Terms] OR "open fracture"[All Fields]) AND (("osteomyelitis"[MeSH Terms] OR "osteomyelitis"[All Fields]) OR ("infection"[MeSH Terms] OR "infection"[All Fields])))).

Selain itu, penelusuran manual dilakukan dengan meninjau daftar pustaka dari studi utama dan artikel tinjauan untuk mengidentifikasi penelitian tambahan yang relevan. Penelusuran literatur secara menyeluruh dilakukan, dan studi yang relevan diseleksi secara independen oleh dua penelaah (Baskoro dan Suryoadji). Pada tahap awal, seluruh judul dan abstrak yang diidentifikasi berdasarkan kata kunci dilakukan proses skrining. Selanjutnya, teks lengkap dari artikel yang terpilih pada tahap pertama ditelaah lebih lanjut. Pada tahap akhir, artikel yang sesuai untuk ekstraksi data dimasukkan ke dalam studi.

Studi yang menilai luaran osteomyelitis pada fraktur terbuka tibia dimasukkan apabila memuat informasi mengenai kejadian osteomyelitis dan klasifikasi Gustilo-Anderson. Seluruh jenis fraktur tibia terbuka disertakan, kecuali fraktur patologis atau fraktur yang disebabkan oleh penyakit dasar lain. Perbedaan akhir dalam penentuan kelayakan inklusi diselesaikan oleh penulis senior ketiga (Hasan). Studi dikeluarkan apabila merupakan laporan kasus atau tidak menyediakan data atau informasi yang tidak memadai.



Gambar 1. Diagram prisma pencarian literatur

Ekstraksi data dan analisa statistik

Data yang relevan diekstraksi secara independen oleh dua penelaah (Baskoro dan Suryoadji). Informasi berikut dicatat ke dalam formulir yang telah dirancang sebelumnya: nama penulis pertama, tahun publikasi, karakteristik dasar pasien, klasifikasi Gustilo-Anderson, dan kejadian osteomyelitis. Besaran efek untuk data dikotomi dilaporkan dalam bentuk relative risk (RR) beserta confidence interval (CI) 95%. Forest plot digunakan untuk menyajikan ringkasan efek dari masing-masing studi dan summary forest plot digunakan untuk ringkasan berdasarkan gustilo-anderson. Apabila data tidak tersedia atau tidak lengkap untuk dilakukan analisis kuantitatif, hasil dilaporkan secara naratif. Nilai $P > 0,05$ dianggap bermakna secara statistik. Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak MetaInsight.

HASIL

Sebanyak lima studi memenuhi kriteria inklusi dalam meta-analisis ini, yang diterbitkan antara tahun 2003 hingga 2025. Informasi dasar setiap studi terlampir di tabel 1. Secara total, 1.134 kasus fraktur terbuka tibia dimasukkan dalam analisis. Fraktur terbuka tibia didapatkan paling sering dengan Gustilo-Anderson tipe IIIA (n=348, 30,7%), IIIB (n=327, 28,8%), IIIC (n=231, 20,4%), II (n=118, 10,4%), dan I (n=103, 9,7%).

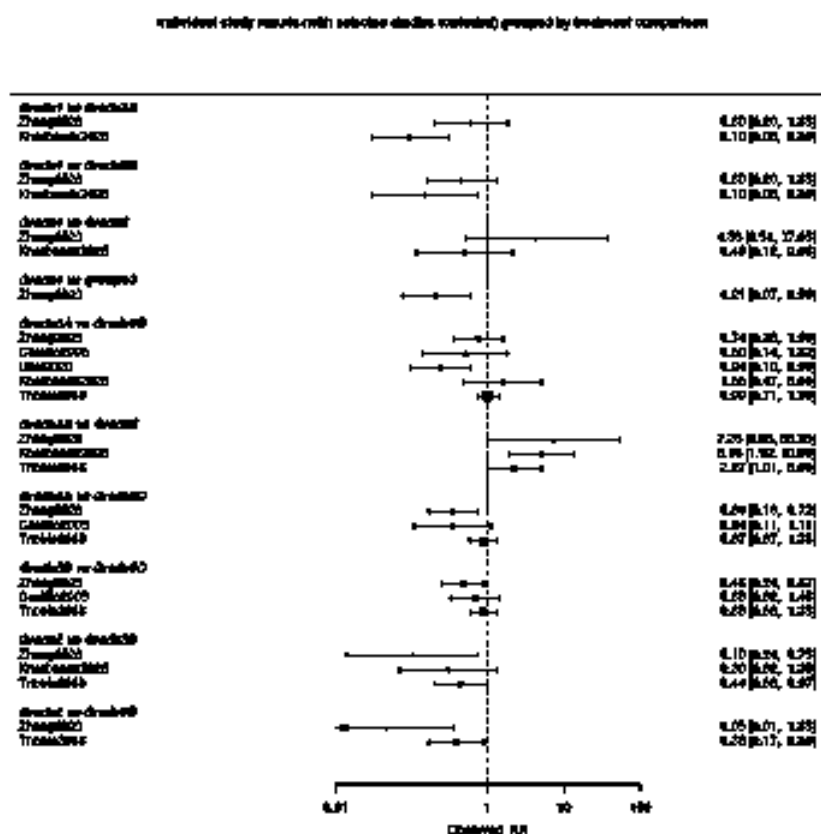
Tabel 1. Informasi dasar studi

Penulis	Tahun	Kasus fraktur terbuka tibia	Osteomyelitis	Gustilo-Anderson	Kasus	Kasus osteomyelitis
Zhang et al ¹⁰	2003	274	39 (14,2%)	I	42	4 (9,5%)
				II	46	1 (2,2%)
				IIIA	57	9 (15,8%)
				IIIB	66	14 (21,2%)
				IIIC	24	11 (45,8%)
Castillo et al ¹¹	2005	301	33 (10,9%)	IIIA	55	3 (5,5%)
				IIIB	74	8 (10,8%)
				IIIC	139	22 (15,8%)
Tribble et al ¹²	2018	264	87 (32,9%)	II	22	5 (22,7%)
				IIIA	62	32 (51,6%)
				IIIB	71	37 (52,1%)
				IIIC	22	13 (59,1%)
Ukai et al ¹³	2020	132	18 (13,7%)	IIIA	77	6 (9,5%)
				IIIB	37	12 (32,4%)
Kharbanda et al ¹⁴	2025	264	25 (9,5%)	I	61	3 (5%)
				II	40	4 (10%)
				IIIA	31	16 (51,6%)
				IIIB	6	2 (33,3%)

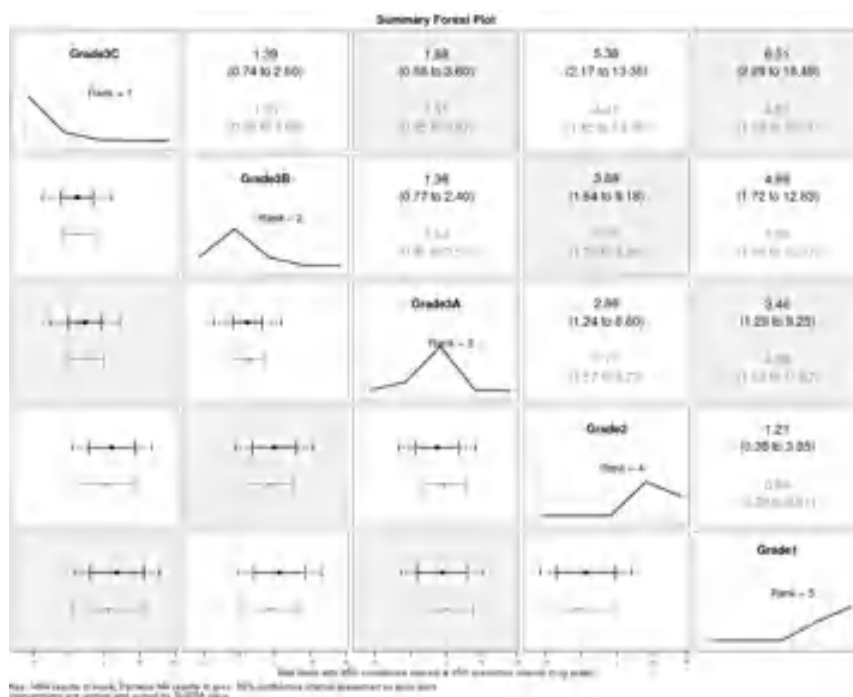
Kejadian osteomyelitis

Berdasarkan hasil telaah studi kami, prevalensi osteomyelitis pada fraktur terbuka tibia berkisar antara 9,5% hingga 33%. Secara umum, peningkatan derajat klasifikasi Gustilo–Anderson menunjukkan hubungan yang hampir linear dengan meningkatnya angka kejadian osteomyelitis. Pengecualian terhadap pola ini terutama ditemukan pada studi dengan jumlah subjek yang relatif kecil, seperti pada laporan Kharbanda et al. untuk fraktur Gustilo–Anderson tipe IIIB dan Zhang et al. untuk tipe II. Meskipun demikian, peningkatan kejadian osteomyelitis yang bermakna secara konsisten terlihat pada transisi dari Gustilo–Anderson tipe II ke tipe IIIA, dengan lonjakan prevalensi masing-masing sebesar 2,2% menjadi 15,8% pada studi Zhang et al., 22,7% menjadi 51,6% pada studi Tribble et al., serta 10% menjadi 51,6% pada studi Kharbanda et al.

Konsistensi peningkatan risiko osteomyelitis yang bermakna secara statistik antara fraktur terbuka Gustilo–Anderson tipe III dibandingkan tipe I dan II ditunjukkan melalui analisis forest plot (Gambar 2). Ringkasan forest plot pada Gambar 3 menunjukkan bahwa peningkatan risiko osteomyelitis tertinggi terjadi pada transisi dari Gustilo–Anderson tipe II ke tipe IIIA (RR 2,86; IK 95%: 1,24–6,60). Sebaliknya, tidak ditemukan perbedaan risiko osteomyelitis yang bermakna secara statistik antara tipe I dan II, maupun di antara sub tipe Gustilo–Anderson tipe III (IIIA, IIIB, dan IIIC).



Gambar 2. Forest plot risiko kejadian osteomyelitis berdasarkan klasifikasi Gustilo-Anderson



Gambar 3. Summary Forest plot risiko kejadian osteomyelitis berdasarkan transisi klasifikasi Gustilo-Anderson

PEMBAHASAN

Studi ini mengevaluasi kejadian osteomyelitis pada 1.134 kasus fraktur terbuka tibia. Sejauh pengetahuan kami, ini merupakan meta-analisis pertama yang mengidentifikasi titik transisi kritis dalam klasifikasi Gustilo–Anderson yang berkaitan dengan peningkatan risiko osteomyelitis pada fraktur terbuka tibia. Stratifikasi risiko osteomyelitis memiliki peran penting dalam optimalisasi proses penyembuhan fraktur serta pencegahan komplikasi lanjut. Prevalensi osteomyelitis ditemukan bervariasi antara 9,5% hingga 33%, menegaskan bahwa infeksi merupakan komplikasi serius dan sering terjadi pada fraktur terbuka tibia.

Analisis kami menunjukkan bahwa peningkatan risiko osteomyelitis paling signifikan terjadi pada transisi dari Gustilo–Anderson tipe II ke IIIA, dengan relative risk gabungan 2,86 (CI 1,24–6,6), konsisten pada tiga studi utama: Zhang et al., Tribble et al., dan Kharbanda et al.^{10,12,14} Temuan ini menegaskan bahwa derajat kerusakan jaringan lunak sekitar fraktur dan tingkat keparahan kompresi fraktur dapat dipikirkan sebagai faktor risiko utama yang meningkatkan kejadian osteomyelitis pada fraktur terbuka tibia. Pada kerusakan jaringan lunak yang berat, terjadi gangguan perfusi lokal dan migrasi sel imun, yang menyebabkan kerentanan terhadap invasi dan persistensi bakteri.¹⁵ Selain itu, beban kontaminasi dan lamanya waktu pertumbuhan bakteri merupakan penentu penting tingkat keparahan infeksi. Diameter luka nekrotik yang mengalami kaseasi meningkat secara progresif dalam beberapa jam setelah kontaminasi bakteri sehingga terjadi peningkatan jumlah bakteri yang lebih cepat, terutama pada luka dalam dengan tekanan parsial oksigen yang rendah serta pada area dengan suplai darah yang buruk, seperti tibia.^{16,17} Selain itu, trauma berenergi tinggi dengan fraktur kominitif menghasilkan fragmen tulang nekrotik yang berfungsi sebagai nidus infeksi dan tempat pembentukan biofilm.^{16,18}

Menariknya, tidak ditemukan peningkatan risiko yang signifikan pada transisi antara tipe IIIA, IIIB, dan IIIC. Fenomena ini kemungkinan mencerminkan efek “plateau” risiko infeksi: setelah ambang kerusakan jaringan lunak tertentu tercapai, peningkatan kerusakan tambahan seperti periosteal stripping, eksposur tulang lebih luas, atau cedera vaskular tidak menambah risiko osteomyelitis secara proporsional. Dari perspektif biologis, hal ini masuk akal karena pada tipe IIIA sudah terjadi kerusakan jaringan lunak ekstensif dan paparan tulang yang cukup untuk memicu risiko infeksi. Oleh karena itu, tipe IIIA dapat dipandang sebagai titik kritis (critical threshold) dimana intervensi preventif menjadi esensial.

Untuk fraktur tipe III, disarankan pemberian kombinasi sefalosporin generasi pertama dan aminoglikosida, dengan penambahan penisilin apabila terdapat risiko kontaminasi fekal atau klostridial. Terapi antibiotik ini harus dilanjutkan selama 72 jam setelah cedera atau 24 jam setelah penutupan jaringan lunak.^{19,20,21} Pada kasus fraktur terbuka, antibiotik sistemik saja sering kali tidak mencukupi karena adanya kerusakan pada jaringan sekitar dan pembuluh darah sehingga irigasi disertai debriment luka disertai stabilisasi fraktur juga menjadi kunci penting pencegahan infeksi.^{22,23}

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil meta-analisis terhadap lima studi dengan total 1.134 kasus fraktur terbuka tibia menunjukkan bahwa prevalensi osteomyelitis berkisar antara 9,5% hingga 33%. Secara umum, risiko osteomyelitis meningkat seiring dengan bertambahnya derajat klasifikasi Gustilo–Anderson (GA). Peningkatan risiko paling bermakna ditemukan pada transisi dari GA tipe II ke tipe IIIA dengan nilai relative risk (RR) 2,86 (IK 95%: 1,24–6,60), yang menandakan adanya lonjakan risiko infeksi pada tingkat keparahan tersebut. Sementara itu, tidak ditemukan perbedaan risiko yang signifikan antara tipe I dan II maupun di antara sub tipe tipe III (IIIA, IIIB, dan IIIC). Temuan ini mengindikasikan bahwa tipe IIIA merupakan titik ambang kritis peningkatan risiko osteomyelitis pada fraktur terbuka tibia. Simpulan, Transisi dari GA tipe II ke IIIA merupakan ambang kritis risiko osteomyelitis pada fraktur terbuka tibia. Klasifikasi dini berbasis GA memiliki nilai prognostik penting dan dapat membantu pengambilan keputusan klinis dalam pencegahan infeksi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mehta DD, Leucht P. Prevention and treatment of osteomyelitis after open tibia fractures. *OTA International*; 7. Epub ahead of print June 2024. DOI: 10.1097/OI9.0000000000000309.
2. Court-Brown CM, Bugler KE, Clement ND, et al. The epidemiology of open fractures in adults. A 15-year review. *Injury* 2012; 43: 891–897.
3. Winkler D, Goudie ST, Court-Brown CM. The changing epidemiology of open fractures in vehicle occupants, pedestrians, motorcyclists and cyclists. *Injury* 2018; 49: 208–212.
4. Weiss RJ, Montgomery SM, Ehlin A, et al. Decreasing incidence of tibial shaft fractures between 1998 and 2004: Information based on 10,627 Swedish inpatients. *Acta Orthopaedica* 2008; 79: 526–533.
5. Villa PEA, Nunes TR, Gonçalves FP, et al. Clinical evaluation of patients with osteomyelitis after open fractures treated at the Hospital de Urgências de Goiânia, Goiás. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)* 2013; 48: 22–28.
6. Campbell R, Berry MG, Deva A, et al. Aggressive management of tibial osteomyelitis shows good functional outcomes. *Eplasty* 2011; 11: e3.
7. Tulner SAF, Schaap GR, Strackee SD, et al. Long-Term Results of Multiple-Stage Treatment for Posttraumatic Osteomyelitis of the Tibia: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* 2004; 56: 633–642.
8. Zhou C-H, Ren Y, Ali A, et al. Single-stage treatment of chronic localized tibial osteomyelitis with local debridement and antibiotic-loaded calcium sulfate implantation: a retrospective study of 42 patients. *J Orthop Surg Res* 2020; 15: 201.
9. Oliveira RV, Cruz LP, Matos MA. Comparative accuracy assessment of the Gustilo and Tscherne classification systems as predictors of infection in open fractures. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)* 2018; 53: 314–318.
10. Zhang J, Lu V, Zhou AK, et al. Predictors for infection severity for open tibial fractures: major trauma centre perspective. *Arch Orthop Trauma Surg* 2023; 143: 6579–6587.
11. Castillo RC, Bosse MJ, MacKenzie EJ, et al. Impact of Smoking on Fracture Healing and Risk of Complications in Limb-Threatening Open Tibia Fractures: *Journal of Orthopaedic Trauma* 2005; 19: 151–157.
12. Tribble DR, Lewandowski LR, Potter BK, et al. Osteomyelitis Risk Factors Related to Combat Trauma Open Tibia Fractures: A Case–Control Analysis. *Journal of Orthopaedic Trauma* 2018; 32: e344–e353.
13. Ukai T, Hamahashi K, Uchiyama Y, et al. Retrospective analysis of risk factors for deep infection in lower limb Gustilo–Anderson type III fractures. *J Orthop Traumatol* 2020; 21: 10.
14. Consultant Orthopaedics, Vidisha, Madhya Pradesh, India, Kharbanda H, Kumar M, et al. Complications and Functional Outcomes in Open Tibia-Fibula Fractures: A Retrospective Analysis from a Tertiary Care Centre. *Jocr* 2025; 15: 365–373.
15. Zhang J, Lu V, Zhou AK, et al. Predictors for infection severity for open tibial fractures: major trauma centre perspective. *Arch Orthop Trauma Surg* 2023; 143: 6579–6587.
16. Depypere M, Morgenstern M, Kuehl R, et al. Pathogenesis and management of fracture-related infection. *Clinical Microbiology and Infection* 2020; 26: 572–578.
17. Zimmerli W, Sendi P. Orthopaedic biofilm infections. *APMIS* 2017; 125: 353–364.
18. Tsukayama DT. Pathophysiology of Posttraumatic Osteomyelitis: *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1999; 360: 22–29.
19. Muthukrishnan G, Coraça-Huber DC, Atkins GJ, et al. 2025 International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection: Summary From the Biofilm Workgroup on Biofilm Formation, Persistence, and Host-Environment Interactions. *Journal Orthopaedic Research* 2026; 44: e70130.

20. Hoff WS, Bonadies JA, Cachecho R, et al. East Practice Management Guidelines Work Group: Update to Practice Management Guidelines for Prophylactic Antibiotic Use in Open Fractures. *Journal of Trauma: Injury, Infection & Critical Care* 2011; 70: 751–754.
21. Lloyd BA, Murray CK, Shaikh F, et al. Antimicrobial Prophylaxis with Combat-Related Open Soft-Tissue Injuries. *Military Medicine* 2018; 183: e260–e265.
22. Metsemakers W-J, Onsea J, Neutjens E, et al. Prevention of fracture-related infection: a multidisciplinary care package. *International Orthopaedics (SICOT)* 2017; 41: 2457–2469.
23. Puetzler J, Zalavras C, Moriarty TF, et al. Clinical practice in prevention of fracture-related infection: An international survey among 1197 orthopaedic trauma surgeons. *Injury* 2019; 50: 1208–1215.