

## Faktor Risiko *Delayed Union* Dan *Nonunion* Pada Fraktur Tulang Panjang: *Literature Review*

Naurah Navalial Izzatul Wafirah<sup>1\*</sup>, Jennifer Jessica Ami Budinata<sup>2</sup>, Fachrizal Arfani  
Prawiragara<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

<sup>2,3</sup>Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

\*Corresponding email: naurahnavali4@gmail.com

**Abstrak:** *Delayed union* dan *nonunion* merupakan komplikasi penyembuhan fraktur tulang panjang yang dapat menyebabkan keterlambatan pemulihan fungsi, penurunan kualitas hidup pasien, serta meningkatkan kebutuhan tindakan lanjutan. Kondisi ini terjadi akibat gangguan proses penyembuhan tulang yang dipengaruhi oleh berbagai faktor biologis maupun mekanis. Kajian literatur ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor risiko yang berhubungan dengan kejadian *delayed union* dan *nonunion* pada fraktur tulang panjang. Penelitian ini menggunakan metode *literature review* melalui proses identifikasi, seleksi, dan analisis berbagai artikel ilmiah berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Hasil telaah menunjukkan bahwa faktor risiko meliputi karakteristik fraktur seperti trauma energi tinggi, fraktur terbuka, kerusakan jaringan lunak, dan kehilangan tulang; faktor pasien berupa usia lanjut, diabetes mellitus, osteoporosis, malnutrisi, obesitas, dan merokok; faktor terkait tindakan operatif berupa kualitas reduksi, stabilitas fiksasi, serta waktu fiksasi definitif; dan komplikasi pascaoperasi terutama infeksi. Faktor tersebut dapat mengganggu vaskularisasi, aktivitas osteoblas, stabilitas mekanis, dan pembentukan kalus. Dapat disimpulkan bahwa *delayed union* dan *nonunion* merupakan kondisi multifaktorial yang memerlukan identifikasi risiko sejak dini, optimalisasi kondisi pasien, serta tata laksana fraktur yang tepat untuk meningkatkan keberhasilan penyembuhan tulang.

**Kata kunci:** *delayed union; nonunion; fraktur tulang panjang; faktor risiko; literature review*

**Abstract:** *Delayed union and nonunion are complications in the healing of long bone fractures that can cause delayed functional recovery, decreased quality of life for patients, and increased need for further interventions. This condition occurs due to disturbances in the bone healing process influenced by various biological and mechanical factors. This literature review aims to identify and analyze risk factors associated with the occurrence of delayed union and nonunion in long bone fractures. This study uses the literature review method thru the process of identification, selection, and analysis of various scientific articles based on inclusion and exclusion criteria. The review results show that risk factors include fracture characteristics such as high-energy trauma, open fractures, soft tissue damage, and bone loss; patient factors such as advanced age, diabetes mellitus, osteoporosis, malnutrition, obesity, and smoking; factors related to the operative procedure such as reduction quality, fixation stability, and timing of definitive fixation; and postoperative complications, especially infections. These factors can disrupt vascularization, osteoblast activity, mechanical stability, and callus formation. It can be concluded that delayed union and nonunion are multifactorial conditions that require early risk identification, optimization of patient conditions, and appropriate fracture management to improve bone healing success.*

**Keywords:** *delayed union; nonunion; long bone fracture; risk factor; literature review*

### Pendahuluan

Fraktur merupakan terputusnya kontinuitas jaringan tulang akibat trauma maupun kondisi patologis, seperti osteoporosis (Meliana & Budi, 2024). Fraktur merupakan salah satu cedera muskuloskeletal yang paling sering terjadi di dunia. World Health Organization (WHO) melaporkan sekitar 1,3 juta kasus fraktur akibat kecelakaan lalu lintas pada 2017-2018, sedangkan Riskesdas 2018 mencatat prevalensi fraktur di Indonesia sebesar 5,5%, dengan cedera terbanyak pada ekstremitas bawah (67,9%) dan atas (36,9%) (WHO, 2018; Riskesdas, 2018). Fraktur tulang panjang yang meliputi femur, humerus, tibia, dan fibula merupakan salah satu jenis fraktur yang

paling sering dijumpai, dengan fraktur femur memiliki proporsi tertinggi (39%), sehingga keberhasilan penyembuhan tulang menjadi faktor penting dalam menentukan luaran klinis pasien.

Penyembuhan fraktur merupakan proses biologis multifase yang melibatkan interaksi berbagai sel, mediator inflamasi, dan faktor pertumbuhan. Proses ini diawali oleh kerusakan vaskular yang memicu pembentukan hematoma dan respons inflamasi, kemudian diikuti pembentukan jaringan granulasi, kalus tulang rawan, dan kalus tulang melalui diferensiasi sel progenitor serta aktivitas osteoblas (Molitoris et al., 2024). Pada tahap akhir, proses remodeling mengubah tulang anyaman menjadi tulang lamelar sehingga struktur, kekuatan mekanik, dan fungsi tulang dapat dipulihkan (Baht et al., 2018; Bahney et al., 2019).

Meskipun penyembuhan fraktur umumnya berlangsung normal, tidak semua fraktur mencapai penyatuan tulang secara optimal. Gangguan penyembuhan tulang dilaporkan terjadi pada sekitar 5-10% kasus fraktur, dengan angka kejadian yang bervariasi bergantung pada lokasi fraktur (Saul et al., 2023). Gangguan tersebut meliputi *delayed union*, yaitu penyatuan tulang yang berlangsung lebih lambat dari waktu yang diharapkan, serta *nonunion*, yaitu kegagalan fraktur mencapai penyatuan setelah periode penyembuhan normal (6-9 bulan) sehingga memerlukan intervensi lebih lanjut. *Nonunion* diklasifikasikan menjadi tipe hipertrofik dan atrofik berdasarkan kapasitas pembentukan kalus dan vaskularisasi tulang. Kondisi ini dapat menyebabkan nyeri persisten, gangguan fungsi, disabilitas, kebutuhan operasi ulang, serta meningkatkan lama perawatan dan biaya pelayanan kesehatan (Hirda et al., 2025).

Berbagai penelitian telah mengidentifikasi faktor risiko kegagalan penyembuhan fraktur, namun hasil yang dilaporkan masih bervariasi pada berbagai populasi dan karakteristik fraktur (Aldhafian et al., 2020). Faktor pasien seperti usia, komorbiditas, dan kebiasaan merokok, serta faktor fraktur seperti kompleksitas cedera, infeksi, dan kegagalan implan, dilaporkan berperan dalam meningkatkan risiko *delayed union* dan *nonunion*. Oleh karena itu, diperlukan tinjauan literatur untuk merangkum dan mengevaluasi bukti ilmiah mengenai faktor risiko *delayed union* dan *nonunion* pada fraktur tulang panjang sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif (Aldhafian et al., 2020). Hasil kajian diharapkan menjadi referensi dalam mengidentifikasi pasien yang berisiko mengalami gangguan penyembuhan tulang serta mendukung penelitian selanjutnya dalam mengembangkan strategi pencegahan dan penatalaksanaan yang lebih efektif (Aldhafian et al., 2020).

## **Metode**

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini adalah studi tinjauan literatur (*literature review*) dengan menelaah, mengidentifikasi, dan menganalisis artikel ilmiah mengenai faktor risiko *delayed union* dan *nonunion* pada fraktur tulang panjang. Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data Google Scholar dan PubMed dengan menggunakan kata kunci yang relevan. Pada tahap identifikasi diperoleh sebanyak 158 artikel. Selanjutnya, dilakukan

tahap *screening* dengan menghapus 5 artikel duplikasi sehingga tersisa 153 artikel. Pada tahap *eligibility*, artikel diperiksa berdasarkan judul dan abstrak serta ketersediaan jurnal secara lengkap, sehingga diperoleh 34 artikel. Selanjutnya, dilakukan seleksi berdasarkan kesesuaian judul dan abstrak dengan fokus kajian hingga diperoleh 11 artikel yang memenuhi kriteria untuk dianalisis. Kriteria inklusi meliputi artikel penelitian asli yang membahas faktor risiko *delayed union* dan/atau *nonunion* pada fraktur tulang panjang, artikel berbahasa Indonesia atau Inggris, serta artikel yang tersedia dalam bentuk *full text*. Adapun kriteria eksklusi meliputi artikel yang diterbitkan lebih dari 10 tahun terakhir, artikel dengan *outcome* yang tidak sesuai, dan artikel dengan desain studi yang tidak sesuai dengan tujuan kajian.

## Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelusuran literatur yang disesuaikan dengan kriteria inklusi dan eksklusi, diperoleh sejumlah artikel yang relevan mengenai faktor risiko *delayed union* dan *nonunion* pada fraktur tulang panjang. Artikel yang memenuhi kriteria tersebut kemudian diseleksi, dianalisis, dan dirangkum secara sistematis dalam Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil Studi Terkait Faktor Risiko *Delayed union* dan *Nonunion* pada Fraktur Tulang Panjang**

| Judul dan Penulis (Tahun)                                                                                                                                           | Desain Studi dan Sampel                                                          | Keterangan                               | Faktor Risiko                                                                                                                                                                                 | Temuan                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Risk Factors Associated with Delayed union after Open Reduction and Plate Fixation for Humeral Diaphyseal Fractures</i><br>Kuo et al. (2025)                     | Kohort retrospektif; n= 65 pasien (fraktur diafisis humerus dengan fiksasi plat) | <i>Delayed union</i>                     | Komplikasi pascaoperasi, celah fraktur pascaoperasi yang lebih besar, dan fraktur AO/OTA A3. Faktor independen: tidak digunakannya <i>interfragmentary screw</i> dan komplikasi pascaoperasi. | Penggunaan <i>interfragmentary screw</i> berperan protektif terhadap <i>delayed union</i> , sedangkan komplikasi pascaoperasi meningkatkan risiko terjadinya <i>delayed union</i> .                                                             |
| <i>Risk Factors at Non-union of Tibial Fracture Treated with Intramedullary Nail</i><br>Puccetti et al. (2024)                                                      | Kohort retrospektif; n= 218 pasien (fraktur diafisis tibia dengan IMN)           | <i>Delayed union</i> dan <i>nonunion</i> | Trauma energi tinggi, fraktur terbuka, kebutuhan flap rekonstruksi, penggunaan fiksator eksternal pra-IMN, kontak kortikal, cedera vaskular, dan infeksi pascaoperasi.                        | Trauma berat, kerusakan jaringan lunak, infeksi, dan reduksi yang kurang optimal berkontribusi terhadap meningkatnya risiko <i>delayed union</i> dan <i>nonunion</i> .                                                                          |
| <i>Risk Factors Associated with Delayed and Aseptic Nonunion Following Tibial Diaphyseal Fractures Managed with Intramedullary Nailing</i><br>Makaram et al. (2021) | Kohort retrospektif; n= 647 pasien (fraktur diafisis tibia dengan IMN)           | <i>Delayed union</i> dan <i>nonunion</i> | Fraktur terbuka, trauma energi tinggi, merokok, alkohol, penggunaan NSAID, steroid dan komplikasi (infeksi superfisial dan sindrom kompartemen)                                               | Fraktur terbuka dan trauma energi tinggi meningkatkan risiko <i>delayed union</i> dan <i>nonunion</i> . Merokok berhubungan dengan <i>delayed union</i> , sedangkan penggunaan NSAID dan infeksi superfisial berkaitan dengan <i>nonunion</i> . |

|                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                         |                      |                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Epidemiology of Fracture Nonunion in 18 Human Bones</i><br><br>Zura et al. (2016)                                                                                                                        | Kohort retrospektif; n= 309.330 pasien dewasa dengan fraktur pada 18 jenis tulang.                      | <i>Nonunion</i>      | Fraktur terbuka, trauma energi tinggi, tindakan operatif, penyakit jantung, alergi, penggunaan NSAID dan opioid, antikoagulan, merokok, diabetes, obesitas, osteoporosis, defisiensi vitamin D, insufisiensi ginjal, serta osteoartritis. | Risiko <i>nonunion</i> dipengaruhi oleh karakteristik fraktur, komorbiditas, dan penggunaan obat. Faktor yang dapat dimodifikasi, terutama penggunaan obat tertentu, berpotensi menjadi target pencegahan <i>nonunion</i> .                           |
| <i>Risk Factor Analysis for Delayed union After Subtrochanteric Femur Fracture: Quality of Reduction and Valgization Are the Key to Success</i><br><br>Freigang et al. (2019)                               | Case-control retrospektif; n= 61 pasien fraktur subtrokanter femur (dengan IMN)                         | <i>Delayed union</i> | Kualitas reduksi fraktur (Baumgaertner), <i>CCD-angle</i> pasca-operasi, <i>Tip-Apex Distance</i> (TAD), dan pemendekan kaki,                                                                                                             | Kualitas reduksi anatomis dan valgisasi yang optimal berperan penting dalam mencegah <i>delayed union</i> dengan meningkatkan stabilitas mekanis fraktur.                                                                                             |
| <i>Risk Factors and Healthcare Costs Associated with Long Bone Fracture Nonunion: A Retrospective US Claims Database Analysis</i><br><br>Vanderkarr et al. (2023)                                           | Kohort retrospektif; n= 31.079 pasien dengan fraktur femur, tibia, atau humerus yang menjalani operasi. | <i>Nonunion</i>      | Usia, jenis kelamin, indeks komorbiditas (Elixhauser), karakteristik fraktur, infeksi penyerta.                                                                                                                                           | <i>Nonunion</i> lebih sering terjadi pada fraktur diafisis dan fraktur dengan cedera jaringan lunak berat. Kompleksitas fraktur, komorbiditas, dan usia lanjut turut meningkatkan risiko <i>nonunion</i> .                                            |
| <i>Risk Factors of Nonunion in Intramedullary Stabilized Diaphyseal Long Bone Fractures: Identifying the Role of Fracture Stabilization Strategies and Concomitant Injuries</i><br><br>Hofman et al. (2021) | Kohort retrospektif; n= 204 pasien dengan fraktur diafisis femur atau tibia (dengan IMN)                | <i>Nonunion</i>      | Strategi damage control orthopaedics (DCO), jumlah operasi sebelum penyatuan tulang, cedera penyerta (trauma dada dan <i>Traumatic Brain Injury</i> / TBI), dan waktu menuju fiksasi definitif.                                           | Strategi stabilisasi fraktur berperan penting terhadap terjadinya <i>nonunion</i> . DCO dan tindakan operasi berulang meningkatkan risiko <i>nonunion</i> , sedangkan cedera dada dan cedera otak traumatik tidak menunjukkan pengaruh yang bermakna. |
| <i>Risk Factors and Fixation in Delayed Healing</i><br><br>Guan et al. (2026)                                                                                                                               | Kohort retrospektif; n= 490 pasien dewasa dengan fraktur ekstremitas traumatik.                         | <i>Delayed union</i> | Usia, BMI, riwayat merokok, diabetes, osteoporosis, malnutrisi, metode fiksasi awal, fraktur terbuka, dan fraktur kominutif.                                                                                                              | <i>Delayed union</i> bersifat multifaktorial dengan kontribusi faktor pasien, karakteristik fraktur, dan strategi fiksasi.                                                                                                                            |
| <i>The Multifactorial Aetiology of Fracture Nonunion and the Importance of Searching for Latent Infection</i><br><br>Mills et al. (2016)                                                                    | Kohort retrospektif; n= 100 pasien dengan <i>nonunion</i> tulang panjang yang                           | <i>Nonunion</i>      | Faktor mekanis, infeksi, defek tulang disertai celah fraktur, serta faktor pasien (misalnya merokok, penggunaan NSAID, dan komorbiditas).                                                                                                 | <i>Nonunion</i> umumnya bersifat multifaktorial, dengan kombinasi faktor mekanis, biologis, infeksi, dan faktor pasien. Evaluasi menyeluruh, termasuk kemungkinan infeksi                                                                             |

|                                                                                                                                                        |                                                                                              |                                   |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Factors Associated With Development of Nonunion or Delayed Healing After an Open Long Bone Fracture: A Prospective Cohort Study of 736 Subjects</i> | menjalani rekonstruksi ekstremitas. Kohort prospektif; n= 739 fraktur tulang panjang terbuka | <i>Delayed union dan nonunion</i> | Karakteristik pasien, tipe fraktur terbuka (Gustilo), waktu operasi debridemen, waktu pemberian antibiotik awal.                                              | laten, penting untuk menentukan penyebab <i>nonunion</i> . Deep infection dan keparahan fraktur merupakan faktor utama <i>nonunion</i> atau delayed healing; merokok berkontribusi pada <i>nonunion</i> . |
| Westgeest et al. (2016)                                                                                                                                |                                                                                              |                                   |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                           |
| <i>Risk Factors for Nonunion of Distal Femur Fractures</i>                                                                                             | Kohort retrospektif; n= 438 pasien (fraktur femur distal)                                    | <i>Nonunion</i>                   | Berat badan (BMI), anemia kronis, fraktur terbuka, kehilangan tulang ( <i>segmental bone loss</i> ), variabel mekanis fiksasi <i>lateral locked plating</i> . | BMI tinggi, anemia kronis, fraktur terbuka, dan kehilangan tulang segmental meningkatkan risiko <i>nonunion</i> ; karakteristik fiksasi plate tidak berhubungan dengan <i>nonunion</i> .                  |
| Cone et al. (2023)                                                                                                                                     |                                                                                              |                                   |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                           |

Delayed union dan nonunion merupakan komplikasi penyembuhan fraktur yang dipengaruhi oleh berbagai faktor biologis maupun mekanis. Dalam penelitian Guan et al. (2026), delayed union dijelaskan sebagai kondisi yang bersifat multifaktorial dengan kontribusi faktor pasien, karakteristik fraktur, dan strategi fiksasi. Temuan tersebut sejalan dengan Mills et al. (2016) yang menyatakan bahwa nonunion umumnya merupakan hasil interaksi antara faktor mekanis, biologis, infeksi, serta faktor pasien, sehingga evaluasi penyebab nonunion perlu dilakukan secara menyeluruh.

Karakteristik fraktur merupakan faktor yang paling konsisten dikaitkan dengan delayed union dan nonunion. Puccetti et al. (2024) melaporkan bahwa trauma energi tinggi, fraktur terbuka, cedera vaskular, dan kerusakan jaringan lunak meningkatkan risiko gangguan penyembuhan tulang. Temuan tersebut sejalan dengan Makaram et al. (2021), sedangkan Cone et al. (2023) mengidentifikasi kehilangan tulang segmental sebagai prediktor independen nonunion. Secara biologis, kerusakan jaringan lunak dan gangguan vaskularisasi menghambat pembentukan kalus melalui penurunan suplai oksigen dan nutrisi ke lokasi fraktur.

Kondisi pasien juga berkontribusi terhadap risiko delayed union dan nonunion. (Zura et al. (2016) melaporkan bahwa diabetes mellitus, osteoporosis, insufisiensi ginjal, obesitas, dan defisiensi vitamin D meningkatkan risiko nonunion, sedangkan Vanderkarr et al. (2023) menambahkan usia lanjut dan tingginya indeks komorbiditas sebagai faktor risiko. Selaras dengan itu, Guan et al. (2026) mengidentifikasi malnutrisi dan riwayat merokok sebagai faktor yang berkontribusi terhadap delayed union. Faktor-faktor tersebut mengganggu angiogenesis, aktivitas osteoblas, dan remodeling tulang sehingga memperlambat penyembuhan fraktur. Pada diabetes melitus, hiperglikemia kronis dapat meningkatkan pembentukan advanced glycation end products

(AGEs) yang menurunkan kualitas matriks kolagen dan menghambat diferensiasi osteoblas. Sementara itu, kebiasaan merokok menyebabkan vasokonstriksi dan penurunan oksigenasi jaringan akibat efek nikotin dan karbon monoksida, sehingga proses regenerasi tulang menjadi kurang optimal (Li et al., 2025).

Faktor terkait tindakan operatif turut menentukan keberhasilan penyatuan fraktur. Freigang et al, (2019) menunjukkan bahwa kualitas reduksi anatomis, CCD-angle pascaoperasi, dan Tip-Apex Distance (TAD) yang optimal meningkatkan stabilitas mekanis sehingga menurunkan risiko delayed union. Selaras dengan itu, Kuo et al. (2025) melaporkan bahwa penggunaan interfragmentary screw bersifat protektif, sedangkan komplikasi pascaoperasi meningkatkan risiko delayed union. Sementara itu, Hofman et al. (2021) menemukan bahwa strategi damage control orthopaedics (DCO), tindakan operasi berulang, dan keterlambatan fiksasi definitif meningkatkan risiko nonunion. Secara biomekanis, stabilitas fiksasi yang baik menciptakan lingkungan yang mendukung diferensiasi sel mesenkimal menjadi osteoblas dan kondrosit, sehingga pembentukan kalus dapat berlangsung secara optimal. Sebaliknya, reduksi fraktur yang tidak anatomis atau fiksasi yang kurang stabil dapat menyebabkan pergerakan fragmen yang berlebihan (excessive interfragmentary motion), sehingga pembentukan jaringan fibrosa lebih dominan dibandingkan jaringan tulang. Akibatnya, proses penyatuan fraktur menjadi lebih lambat, meningkatkan risiko kegagalan fiksasi, dan dapat berkembang menjadi nonunion (Duan & Lu, 2021).

Komplikasi pascaoperasi, terutama infeksi, secara konsisten dikaitkan dengan *delayed union* dan *nonunion*. Westgeest et al. (2016) mengidentifikasi deep infection sebagai faktor utama kegagalan penyembuhan tulang, sedangkan Makaram et al. (2021) mengaitkan infeksi superfisial dengan *nonunion*. Hasil tersebut didukung oleh Mills et al. (2016) yang menekankan pentingnya evaluasi infeksi laten. Infeksi menghambat osteogenesis, mempertahankan inflamasi, dan membentuk biofilm pada implan sehingga mengganggu penyembuhan tulang. Oleh karena itu, debridemen yang adekuat, pemberian antibiotik tepat waktu, dan teknik operasi yang baik penting untuk mencegah *delayed union* dan *nonunion*.

## **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil berbagai studi, *delayed union* dan *nonunion* pada fraktur tulang panjang merupakan komplikasi multifaktorial yang dipengaruhi oleh faktor pasien, karakteristik fraktur, tindakan operatif, dan komplikasi pascaoperasi. Identifikasi faktor risiko sejak dini, optimalisasi kondisi pasien, stabilitas mekanis yang adekuat, serta pencegahan infeksi merupakan komponen penting untuk meningkatkan keberhasilan penyembuhan fraktur dan menurunkan kejadian *delayed union* maupun *nonunion*.

## **Ucapan Terima Kasih**

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Universitas Pembangunan Nasional

"Veteran" Jawa Timur atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan selama proses penyusunan penelitian ini. Penulis juga mengapresiasi dosen pembimbing serta seluruh pihak yang telah memberikan arahan, masukan, dan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

## Referensi

- Aldhafian, M., Alotaibi, F., Alzahrani, A., Almajid, H., Alamri, A., Aljandal, A., Alamri, F., Alhawas, F., & Khalifa, A. F. M. (2020). Patient - dependent factors for fractures union failure among Riyadh population 2016. *Wolters Kluwer - Medknow*, 9(12), 6224–6227. <https://doi.org/10.4103/jfmmpc.jfmmpc>
- Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan. (2018). Laporan nasional Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. <https://repository.badan.kebijakan.kemkes.go.id/id/eprint/3514/>
- Bahney, C. S., Zondervan, R. L., Allison, P., Theologis, A., Ashley, J. W., Ahn, J., Miclau, T., Marcucio, R. S., & Hankenson, K. D. (2019). Cellular Biology of Fracture Healing. *J Orthop Res*, 37(1), 35–50. <https://doi.org/10.1002/jor.24170.Cellular>
- Baht, G. S., Vi, L., & Alman, B. A. (2018). The Role of the Immune Cells in Fracture Healing. *Current Osteoporosis Reports*, 16(138), 138–145. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s11914-018-0423-2>
- Cone, R., Roszman, A., Conway, Y., Cichos, K., McGwin, G., & Spitler, C. A. (2023). Risk Factors for Nonunion of Distal Femur Fractures. *Wolters Kluwer Health, Inc*, 37(4), 175–180. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000002553>
- Duan, Z., & Lu, H. (2021). Effect of Mechanical Strain on Cells Involved in Fracture Healing. *CHINESE ORTHOPAEDIC ASSOCIATION AND JOHN WILEY & SONS AUSTRALIA*, 13, 369–375. <https://doi.org/10.1111/os.12885>
- Freigang, V., Gschrei, F., Bhayana, H., Schmitz, P., Weber, J., Kerschbaum, M., Nerlich, M., & Baumann, F. (2019). Risk factor analysis for *delayed union* after subtrochanteric femur fracture : quality of reduction and valgization are the key to success. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(391), 1–8. <https://doi.org/doi.org/10.1186/s12891-019-2775-x>
- Guan, G., Fu, Z., & Sun, Q. (2026). Risk factors for delayed healing after traumatic limb fractures and a comparative assessment of external versus internal fixation in *delayed union*. *Am J Transl Res*, 18(3), 2753–2767. <https://doi.org/https://doi.org/10.62347/WYVZ4875>
- Hirda, T. A., Dhedie, A., Sam, P., & Amiruddin, A. (2025). TATALAKSANA NON-UNION TIBIA DENGAN ORIF ( OPEN REDUCTION AND INTERNAL FIXATION ) DAN MALUNION FIBULA DENGAN OSTEOTOMI : LAPORAN KASUS. *PREPOTIF: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9(3), 7557–7562.
- Hofman, M., Andruszkow, H., Heyer, F. L., Kobbe, P., Hildebrand, F., & Poeze, M. (2021). Risk factors of non - union in intramedullary stabilized diaphyseal long bone fractures : identifying the role of fracture stabilization strategies and concomitant injuries. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 47(6), 1903–1910. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01335-y>
- Kuo, Y. R., Ko, P. Y., Lee, C. Y., Tsai, T. C., Chuang, C. H., & Yao, S. H. (2025). Risk factors associated with *delayed union* after open reduction and plate fixation for humeral diaphyseal fractures. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, 26(28). <https://doi.org/10.1186/s10195-025-00843-0>
- Li, Z., Luo, C., Yu, X., Ye, L., Duan, C., Xu, S., Zeng, M., Xu, H., Peng, Z., Wang, P., Wang, Y., Ruan, W., Xue, M., Zhang, C., & He, D. (2025). World Journal of. *World Journal of Diabetes*, 16(10), 1–34. <https://doi.org/10.4239/wjd.v16.i10.111813>
- Makaram, N. S., Leow, J. M., Clement, N. D., Oliver, W. M., Ng, Z. H., Simpson, C., & Keating, J. F. (2021). Risk factors associated with delayed and aseptic *nonunion* following tibial diaphyseal fractures managed with intramedullary nailing. *Bone Jt Open*, 2(4), 227–235. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.24.BJO-2021-0012.R1>

- Meliana, B. P., & Budi, A. W. S. R. (2024). Jurnal Penelitian Perawat Profesional. *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, 6(6), 2411–2420.
- Mills, L., Tsang, J., Hopper, G., Keenan, G., & Simpson, A. H. R. W. (2016). The multifactorial aetiology of fracture *nonunion* and the importance of searching for latent infection. *Bone Joint Res*, 5(10), 512–519. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.510.BJR-2016-0138>
- Molitoris, K. H., Huang, M., & Baht, G. S. (2024). Osteoimmunology of Fracture Healing. *Current Osteoporosis Reports*, 22, 330–339. <https://doi.org/10.1007/s11914-024-00869-z>
- Puccetti, V. L. Y. A., Miranda, F. L. de, Figueiredo, C. C. N. de, Medeiros, K. A. de A., Leonhardt, M. de C., Silva, J. dos S., & Kojima, K. E. (2024). RISK FACTORS AT NON-UNION OF TIBIAL FRACTURE TREATED WITH INTRAMEDULLARY NAIL FATORES DE RISCO PARA NÃO-UNIÃO DA FRATURA DE. *Acta Ortop Bras*, 32(2), 1–8. <https://doi.org/doi.org/10.1590/1413-785220243202e278581>
- Saul, D., Menger, M. M., Ehnert, S., Nüssler, A. K., Histing, T., & Laschke, M. W. (2023). Bone Healing Gone Wrong : Pathological Fracture Healing and Non-Unions — Overview of Basic and Clinical Aspects and Systematic Review of Risk Factors. *Bioengineering*, 10(35). <https://doi.org/doi.org/10.3390/bioengineering10010085>
- Vanderkarr, M. F., Ruppenkamp, J. W., Vanderkarr, M., Holy, C. E., & Blauth, M. (2023). Risk factors and healthcare costs associated with long bone fracture non - union : a retrospective US claims database analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 3, 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04232-3>
- World Health Organization. (2018). Global status report on road safety 2018. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
- Westgeest, J., Physiol, B., Weber, D., Fracs, C., Dulai, S. K., Fracs, C., Bergman, J. W., Fracs, C., Buckley, R., Fracs, C., & Beaupre, L. A. (2016). Factors Associated With Development of *Nonunion* or Delayed Healing After an Open Long Bone Fracture : A Prospective Cohort Study of 736 Subjects. *J Orthop Trauma*, 30(3), 149–155.
- Zura, R., Xiong, Z., Einhorn, T., Watson, J. T., Ostrum, R. F., Prayson, M. J., Rocca, G. J. Della, Mehta, S., Mckinley, T., Wang, Z., & Steen, R. G. (2016). Epidemiology of Fracture *Nonunion* in 18 Human Bones. *JAMA Surgery*, 27703(11), 1–12. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2016.2775>