

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nyeri merupakan masalah yang menjadi alasan tersering dikeluhkan oleh pasien ketika berobat ke fasilitas kesehatan. Nyeri didefinisikan oleh *International Association for Study of Pain* (IASP) sebagai suatu pengalaman sensorik dan emosional yang tidak menyenangkan yang terkait dengan kerusakan jaringan aktual atau potensial (Raja et al., 2020). Salah satu keluhan nyeri yang paling umum terjadi adalah nyeri punggung bawah (NPB) bahkan menjadi penyebab utama disabilitas di seluruh dunia. Berdasarkan data dari studi *The Global Burden of Disease (GBD)* menunjukkan bahwa pada tahun 2020 sekitar 619 juta orang di seluruh dunia menderita nyeri punggung bawah dan diperkirakan pada tahun 2050 angka tersebut akan meningkat sekitar 36 % menjadi 843 juta kasus pada populasi di seluruh dunia. (WHO, 2023) (Ferreira et al., 2023)

Nyeri punggung bawah kronik (NPBK) merupakan sindrom nyeri kronis di daerah punggung bawah yang telah berlangsung setidaknya selama 3 bulan (Farley et al., 2024). NPBK ini dirasakan sebagai rasa nyeri atau tidak nyaman yang terjadi pada area di bawah batas tulang rusuk terbawah, diatas pinggul dan di antara garis midaxillary bilateral dan biasanya disertai nyeri pada salah satu atau kedua tungkai bawah (K. Liu et al., 2023). Nyeri kronik ini dapat mengganggu kemampuan seseorang untuk beristirahat, konsentrasi, dan melakukan aktivitas rutin yang biasa dilakukan (Licina et al., 2023). Dalam keadaan nyeri, seseorang akan cenderung membatasi segala aktivitas fisik yang dilakukannya karena beranggapan bahwa aktivitas tersebut dapat memperburuk keadaan dimana hal ini akhirnya dapat berdampak pada kualitas hidupnya.

Sekitar 60 – 80% dari total populasi pernah mengalami nyeri punggung bawah sekali dalam hidupnya. Prevelensi nyeri punggung bawah diperkirakan sebesar 49-90% dan sekitar 25% pasien yang datang ke fasilitas kesehatan untuk berobat dengan nyeri punggung bawah akan mengalami episode lain nyeri punggung bawah dalam satu tahun. NPB meningkat seiring dengan bertambahnya usia. Menurut GBD 2021, tingkat prevalensi global nyeri punggung bawah lebih banyak pada perempuan daripada laki-laki di semua kelompok usia, namun perbedaan yang lebih signifikan terlihat pada kelompok usia yang lebih tua (> 75 tahun) (Ferreira et al., 2023). Onset terjadinya NPB biasanya berusia 20-60 tahun, paling sering dimulai pada dekade ketiga atau usia pertengahan sekitar 30-40 tahun. Puncak insidensi NPB adalah pada golongan berusia 45-60 tahun. (Hsin et al., 2016; Allegri et al., 2016) (Alemanno et al., 2019). Data yang diperoleh dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI) menunjukkan prevalensi NPB di Indonesia adalah sekitar 18% dari total populasi. NPB dapat membaik dengan sendirinya dan cepat, namun pada sekitar 4- 25 % dari semua kasus akan berubah menjadi kronik.

Sebagian besar nyeri punggung bawah kronik disebabkan oleh adanya degenerasi diskus intervertebralis yang seringkali menyebabkan peradang pada saraf yang terkena. Selain itu, kelainan juga dapat terjadi pada jaringan lunak berupa cedera otot, kekakuan otot, ligamen, maupun kelelahan otot (Zhang et al., 2021). NPBK atau *chronic low back pain (CLBP)* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor resiko yang antara lain adalah usia, jenis kelamin, index masa tubuh (IMT), posisi duduk lama, pekerjaan, aktivitas mengangkat beban berat, maupun riwayat trauma. Nyeri punggung bawah ini terjadi baik pada usia muda maupun tua, namun akan semakin parah terkena pada

rentang usia 30-60 tahun keatas. Nyeri punggung bawah yang biasa dirasakan berasal dari otot, saraf, atau struktur lain di sekitar area tersebut (Zielinska et al., 2021). Tingkat nyeri punggung bawah dapat dinilai menggunakan penilaian nyeri yang secara umum sering digunakan parameter (*pain assesment tools*). *Numeric pain rating scale* (NPRS) merupakan skala nyeri yang paling sering digunakan dibandingkan dengan skala nyeri yang lain (Almoallim et al., 2014)(Allegri et al., 2016)

Diagnosis dan pengobatan sebelumnya NPBK terutama difokuskan pada patologi perifernya. Namun akhir- akhir ini, pendekatan neurosains modern terhadap nyeri telah menyoroti peran plastisitas kortikal pada nyeri muskuloskeletal kronis. Dalam hal ini, beberapa penelitian menemukan adanya perubahan struktural dan fungsional di otak pada pasien dengan nyeri kronis. Pengetahuan terperinci tentang perubahan kortikal pada NPBK dapat meningkatkan pemahaman kita tentang mekanisme yang terlibat dalam NPBK, membuka jendela baru untuk pengobatan nyeri punggung bawah yang lebih baik. Penelitian tersebut menyelidiki aktivitas gelombang otak pada pasien dengan NPBK dibandingkan dengan individu yang sehat. Hasilnya menunjukkan adanya peningkatan aktivitas otak di berbagai bagian otak pada pasien dengan NPB kronis. Temuan ini mendukung pengobatan NPBK yang lebih fokus pada faktor perifer dan kortikal daripada kerusakan jaringan lokal (Larie et al., 2023).

Telah banyak prosedur diagnostik maupun terapi yang sering dilakukan pada penderita nyeri punggung bawah kronik (NPBK). Namun belum ada satu modalitas terapi yang dapat secara permanen atau konsisten menghilangkan nyeri punggung bawah kronik. Hal ini menyebabkan nyeri kronik seperti NPBK ini memerlukan terapi yang lama dan biaya pengobatan yang besar serta mempengaruhi kualitas hidup penderitanya. Manajemen nyeri punggung bawah kronik tentunya melibatkan beberapa metode baik secara farmakologis maupun non farmakologis. Terapi fisik, olahraga, akupuntur, edukasi, farmakologis konvensional, dan intervensi lain digunakan untuk mengurangi intensitas nyeri, dimana pemberian obat analgesik atau obat penghilang rasa nyeri tentunya lebih sering menjadi pilihan utama. Namun, tidak semua pasien NPBK merespon baik pada terapi farmakologis secara maksimal. Hal ini dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, seperti keteraturan minum obat, faktor stres, cemas, pekerjaan, penyakit komorbid lain, dan kontinuitas terapi pada fasilitas kesehatan.

Pemberian terapi farmakologis terus menerus dapat menyebabkan penderita NPBK merasa ketergantungan dengan obat analgesik dan memiliki berbagai macam efek samping. Adapun metode mengontrol nyeri dengan pendekatan non farmakologis biasanya mempunyai resiko yang lebih rendah ketimbang terapi farmakologis (Allegri et al., 2016), (Grazzi et al., 2021). Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, muncul berbagai pendekatan alternatif manajemen nyeri. Walaupun hal tersebut bukan menjadi pengganti obat- obatan, tindakan tersebut diperlukan untuk meningkatkan efek farmakologis yakni antara lain yang dapat dilakukan salah satunya dengan pemberian terapi *brain wave entrainment* (BWE) melalui binaural beats auditori maupun terapi musik (Licina et al., 2023).

Brain wave entrainment (BWE) ialah aktivitas otak yang dilakukan berulang- ulang/ ritmik dalam jangka waktu tertentu yang dapat berupa stimulasi visual maupun auditori sehingga mengubah gelombang otak tertentu sesuai dengan stimulus yang diberikan. Stimulasi dengan gelombang suara (binaural beats) melalui *auditory tones* dinilai lebih efektif, murah, dan mudah digunakan (Shamsi et al., 2024), (Aparecido-Kanzler et al., 2021). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa binaural beats dapat mempengaruhi gelombang otak, mendorong relaksasi, dan meredakan kecemasan (Fernando et al., 2019), (Gkolias et al., 2020).

Disisi lain, musik telah lama dikenal memiliki pengaruh terhadap kesehatan mental dan fisik manusia. Terapi musik, khususnya musik klasik mulai luas digunakan di berbagai intervensi sebagai terapi non farmakologis yang bertujuan menurunkan level stres, kecemasan, bahkan nyeri (Merrill & Amin, 2021). Musik klasik sering dihubungkan dengan efek relaksasi yang dianggap dapat memicu sistem saraf parasimpatis sehingga mengurangi persepsi nyeri pada seseorang (Mercadillo & Garza-Villarreal, 2023). Penelitian menunjukkan bahwa mendengarkan musik klasik dapat menurunkan tingkat hormon kortisol, hormon stres, serta meningkatkan endorfin yang merupakan hormon yang berfungsi mengurangi rasa sakit (Thoma et al., 2013). Dalam konteks nyeri punggung bawah kronik, musik klasik terbukti dapat digunakan sebagai media untuk meningkatkan relaksasi dan mengurangi persepsi nyeri seseorang (LAWING, 2020).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengindikasikan bahwa penggunaan binaural beats dan musik klasik dapat mempengaruhi persepsi nyeri termasuk nyeri kronik seperti nyeri punggung bawah. Namun sejauh ini, belum ada studi yang secara khusus membahas tentang perbandingan pengaruh terapi *brain auditory* dengan stimulasi *alpha binaural beats* dan musik klasik terhadap intensitas nyeri punggung bawah kronik. Hal inilah yang menjadi alasan peneliti tertarik untuk menganalisis perbandingan pengaruh kedua terapi tersebut yakni stimulasi *alpha binaural beats* dan musik klasik terhadap intensitas nyeri pada pasien nyeri punggung bawah kronik di Makassar khususnya di RSUP Wahidin Sudirohusodo dan rumah sakit jejaring. Hal ini diharapkan memberikan manfaat bagi pengembangan metode terapi non farmakologis yang lebih efektif terutama dalam mengurangi ketergantungan terhadap obat-obatan analgesik pada manajemen nyeri punggung bawah kronik.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana perbandingan pengaruh stimulasi *alpha binaural beats* dan musik klasik terhadap intensitas nyeri pada pasien nyeri punggung bawah kronik?

1.3 Hipotesis Penelitian

Stimulasi *alpha binaural beats* lebih baik dalam menurunkan intensitas nyeri dibandingkan musik klasik (Chopin) pada pasien nyeri punggung bawah kronik.

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Mengetahui perbandingan pengaruh stimulasi *alpha binaural beats* dan musik klasik terhadap intensitas nyeri pada pasien nyeri punggung bawah kronik

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Menilai intensitas nyeri berdasarkan *numeric pain rating scale* (NPRS) sebelum diberikan intervensi stimulasi *alpha binaural beats* dan pemberian obat pada kelompok binaural beats (BB), kelompok musik klasik, dan kelompok kontrol.
2. Menilai intensitas nyeri berdasarkan *numeric pain rating scale* (NPRS) setelah diberikan intervensi stimulasi *alpha binaural beats* pada kelompok binaural beats (BB), kelompok musik klasik, dan kelompok kontrol.
3. Membandingkan intensitas nyeri berdasarkan *numeric pain rating scale* (NPRS) sebelum dan setelah diberikan intervensi dan pemberian obat pada kelompok binaural beats (BB), kelompok musik klasik, dan kelompok kontrol.

4. Membandingkan perubahan intensitas nyeri berdasarkan *numeric pain rating scale (NPRS)* setelah diberikan intervensi antara kelompok binaural beats dan kontrol.
5. Membandingkan perubahan intensitas nyeri berdasarkan *numeric pain rating scale (NPRS)* setelah diberikan intervensi antara kelompok musik klasik dan kontrol.
6. Membandingkan perubahan intensitas nyeri berdasarkan *numeric pain rating scale (NPRS)* setelah diberikan intervensi antara kelompok binaural beats dan musik klasik.
7. Menilai perbaikan klinis nyeri setelah intervensi dan pemberian obat pada pasien nyeri punggung bawah kronik.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan pengetahuan dan berkontribusi terhadap perkembangan manajemen terapi nyeri punggung bawah khususnya pengaruh *brain auditory* dengan stimulasi *alpha binaural beats* maupun musik klasik terhadap intensitas nyeri punggung bawah kronik.

1.5.2 Manfaat Aplikatif

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan aksesibilitas penanganan nyeri punggung bawah kronik yang mudah, aman, lebih terjangkau bagi masyarakat pada umumnya sehingga menjadi alternatif terapi non farmakologis pada penderita nyeri punggung bawah kronik.

1.5.3 Manfaat Metodologi

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan atau sumber referensi bagi peneliti lain dalam melakukan penelitian selanjutnya terkait efek terapi *brain auditory* dengan stimulasi *alpha binaural beats* maupun musik klasik terhadap intensitas nyeri punggung bawah kronik.

1.6 Kajian dan Kerangka Teori

1.6.1 Nyeri Punggung Bawah

Nyeri punggung bawah (NPB) merupakan nyeri yang dirasakan pada bagian posterior tubuh dari batas bawah vertebra thorakal ke-12 hingga lipatan gluteal bawah dengan atau tanpa nyeri yang menjalar ke salah satu atau kedua tungkai bawah (Hoy et al., 2014). Berdasarkan durasi, nyeri punggung bawah dapat dikategorikan menjadi nyeri punggung bawah akut, subakut dan kronis. NPB akut merupakan nyeri yang dirasakan kurang dari 4 minggu, subakut 4-12 minggu, dan dikatakan kronik bila berlangsung lebih dari 3 bulan. NPB juga dapat dikelompokkan menjadi nyeri punggung bawah spesifik, nyeri radikular dan nyeri punggung bawah nonspesifik. (Bardin et al., 2017). NPB juga secara anatomis digolongkan kedalam NPB primer dan sekunder. Dimana NPB primer disebabkan oleh adanya kelainan pada struktur di sekitar lumbal yang dapat berupa cedera ligamen, otot, persendian, maupun persarafannya. Sedangkan NPB sekunder merupakan manifestasi nyeri akibat kelainan pada struktur di luar lumbal atau merupakan nyeri alih dari gangguan atau kelainan organ viseral di sekitar lumbal (Ferreira et al., 2023).

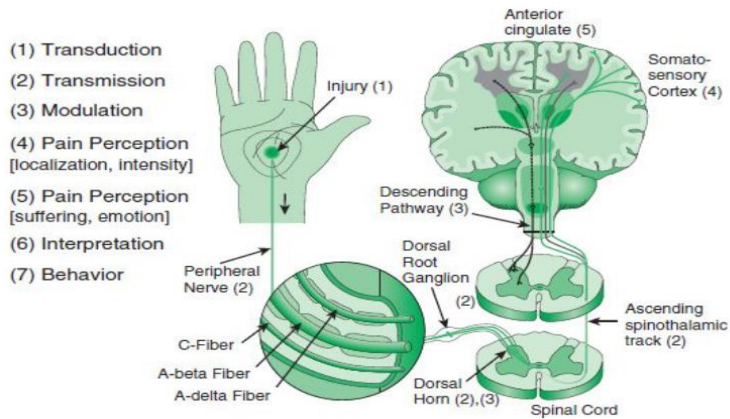
Prevalensi nyeri punggung bawah kronik diperkirakan sebanyak 13,1 % pada orang dewasa di Amerika serikat berusia 20 hingga 69 tahun. Sedangkan prevalensi

NPBK di Italia diperkirakan sebesar 5,91% dari populasi umum. Prevalensi nyeri akut dan kronik pada NBP terus meningkat dalam dekade terakhir. Peningkatan prevalensi NPB seumur hidup sekitar 84%, dimana 23% diantaranya adalah NPBK dan sekitar 11-12% akan berkembang menjadi *disability* (Almoallim et al., 2014). Nyeri punggung bawah (NPB) merupakan suatu gejala sebagai manifestasi dari banyak penyakit yang mendasarinya. Kejadian nyeri punggung bawah kronik dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain usia, jenis kelamin, genetik, indeks massa tubuh, ergonomi, pekerjaan, masa kerja, faktor stres, kebiasaan merokok, kebiasaan olahraga. Gejala NPBK sebagian besar berasal dari kelainan muskuloskeletal dan kelainan jaringan lunak yang berupa cedera otot, ligamen, spasme. Degenerasi diskus, Hernia nukleus pulposus (HNP), fraktur kompresi, spondiloarthritis, fibromialgia, tumor tulang belakang, infeksi, abses epidural, sindrom kauna equina, nefrolitiasis, endometriosis, muscle spasme merupakan gangguan yang dapat bermanifestasi sebagai nyeri punggung bawah (Farley et al., 2024).

Secara anatomis tulang belakang terdiri atas susunan os.vertebrae yang masing-masing dipisahkan oleh diskus intervertebralis dan disatukan oleh ligamentum longitudinal anterior dan posterior. Anatomi pada vertebra lumbal merupakan kombinasi yang kuat dari vertebra, dimana dihubungkan oleh kapsul sendi, ligamen, tendon, dan otot, dengan persarafan yang kompleks. Susunan vertebra ini akan membentuk struktur yang disebut kanalis vertebralis, di mana di dalamnya terdapat medulla spinalis yang akan bercabang menjadi radiks dan saraf perifer. Diskus intervertebralis terdiri dari nukleus pulposus serta annulus fibrosus dan berfungsi sebagai bantalan antarvertebra. Diskus intervertebralis memegang peran penting dalam menghadapi guncangan serta fleksibilitas tulang belakang (Oichi et al., 2020).

Penyokong tulang belakang adalah ligamentum yang merupakan jaringan ikat yang menghubungkan satu tulang ke tulang lainnya. Dari anterior ke posterior, ligamentum tersebut terdiri dari, ligamentum longitudinal anterior; ligamentum longitudinal posterior, ligamentum flavum, ligamentum intertransversal, ligamentum interspinosus, dan ligamentum supraspinosus. Struktur tulang belakang yang kompleks inilah yang memungkinkan pergerakan yang fleksibel pada tiap segmennya dan berfungsi mencegah terjadinya hiperekstensi, hiperfleksia (Oichi et al., 2020).

Terdapat otot-otot punggung bawah yang membantu menstabilkan tulang belakang serta berperan dalam gerakan fleksi, ekstensi, dan rotasi. Otot-otot profunda melekat pada rongga-rongga yang berada di antara prosesus spinosus. Selain itu, terdapat pula otot-otot yang menyokong vertebra lumbalis yakni m. Longissimus, m. Multifidus, dan m. Spinalis. Postur atau posisi tubuh yang salah dapat memicu terjadinya peregangan berlebihan pada ligamentum dan otot-otot ini, sehingga menyebabkan robekan, perdarahan kecil dan inflamasi, yang akan menyebabkan nyeri. Hal ini dikenal dengan strain atau regangan, maupun sprain yang menyebabkan kerusakan (Sassack & Carrier, 2025). Struktur-struktur anatomi yang penting tersebut berkontribusi terhadap fungsi dan berpengaruh pada terjadinya nyeri punggung bawah.



Gambar 1. Anatomi persepsi nyeri (Themes, 2016)

Mekanisme nyeri pada dasarnya merupakan rangkaian proses elektrofisiologis yang terjadi antara kerusakan jaringan sebagai sumber rangsang nyeri hingga dirasakan sebagai nyeri yang disebut nosiseptif. Terdapat empat proses yang terjadi pada suatu nosiseptif seperti pada **gambar 1**: (Themes, 2016) (Chen et al., 2024)

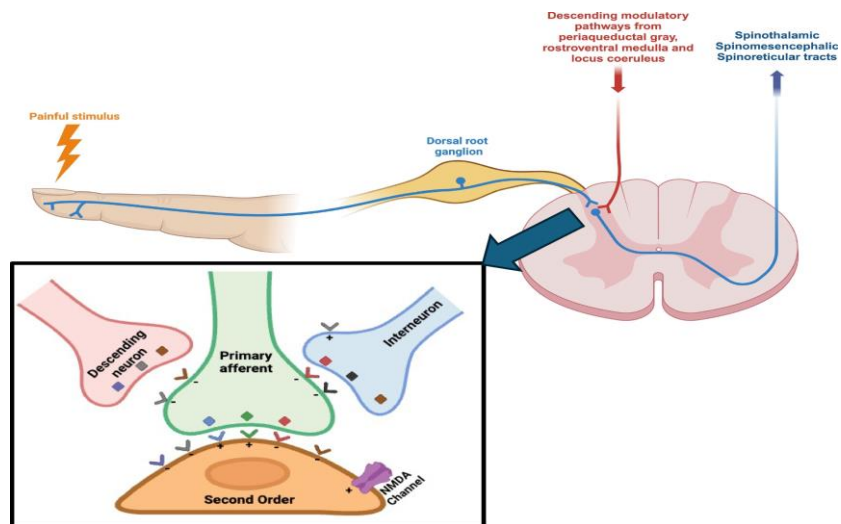
- 1) Transduksi, yaitu proses dimana suatu stimulasi nyeri (*noxious stimuli*) diubah menjadi suatu aktivitas listrik yang diterima ujung-ujung saraf (*nerve ending*). Stimuli ini dapat berupa stimulasi fisik (tekanan), suhu (panas), atau kimia (substansi nyeri).
- 2) Transmisi, merupakan fase dimana stimulus dipindahkan dari saraf perifer melalui medulla spinalis (spinal cord) menuju otak.
- 3) Modulasi, adalah proses dari mekanisme nyeri dimana terjadi interaksi antara system analgesic endogen
- 4) Persepsi, yaitu hasil dari proses interaksi yang kompleks dan unik yang dimulai dari proses transduksi dan transmisi yang menghasilkan suatu perasaan yang subyektif.

Suatu penjelasan tentang proses nyeri yang dikemukakan oleh Melzack dan Wall pada tahun 1965 yakni "Teori Gate Control" menjelaskan tentang bagaimana tubuh mengatur rasa sakit melalui "gerbang" (gate) di sumsum tulang belakang yang mengontrol aliran sinyal nyeri ke otak. Gerbang ini berfungsi untuk mengatur sinyal nyeri yang berasal dari saraf perifer akan diteruskan ke otak atau tidak. Mekanisme *Gate control theory* terletak di *dorsal root* medulla spinalis khususnya di substantia gelatinosa. Interneuron dalam substantia gelatinosa inilah yang bersinaps dengan neuron aferen primer yang merupakan tempat terjadinya mekanisme *Gate control theory*. Dengan demikian, substansia gelatinosa memodulasi informasi sensorik yang datang dari neuron aferen primer (Trachsel et al., 2025).

Pada nyeri punggung bawah kronik dapat terjadi nyeri nosiseptif maupun nyeri neuropati. Nosiseptif terjadi akibat adanya kerusakan jaringan, sedangkan nyeri neuropati terjadi akibat kerusakan saraf dari sistem saraf somatosensorik (Finnerup et al., 2021). Nyeri yang terjadi ini melibatkan sensitisasi sentral dan sensitisasi perifer. Kerusakan pada serabut saraf aferen akan menyebabkan terjadinya perubahan di serabut saraf aferen maupun neuron – neuron di jaringan radiks dorsalis maupun kornu dorsalis medula spinalis.

Berbeda dengan nyeri akut, mekanisme pada nyeri kronik melibatkan perubahan yang disebut neuroplastisitas yang kompleks pada ketiga orde neuron yang terlibat dalam transmisi nyeri serta perubahan pada *descending pain inhibitory pathway*

(gambar 2). Zat kimia yang berperan dalam transmisi nyeri dilepaskan ke jaringan ekstraseluler ketika terjadi kerusakan. Hal tersebut akan mengaktifkan reseptor nyeri dengan mengiritasi ujung saraf. Sinyal nyeri dapat menyebabkan serabut A-delta dan C melepaskan neurotransmitter eksitatorik seperti glutamat, adenosin tri-fosfat, *calcitonin gene-related peptida* (CGRP), bradikinin, *nitric oxide* dan Substansi-P (menghantar transmisi nyeri) dan menstimulasi neuron orde kedua. Sinyal nyeri juga dapat menyebabkan serabut A-beta dan serabut C melepaskan neurotransmitter inhibitorik seperti *gamma-amino butyric acid* (GABA) dan enkafalin, endorfin, serotonin, norepinefrin, asetilkolin (ACh), yang menghambat interneuron, sehingga menutup gerbang untuk mentransmisikan sinyal nyeri ke neuron orde kedua. Adanya pengaruh serat saraf yang berukuran besar (misalnya serabut A-beta yang mengirimkan sinyal non-nyeri seperti sentuhan) dapat menutup gerbang, sementara serat saraf yang berukuran kecil (seperti serabut C yang membawa sinyal nyeri) dapat membuka gerbang. Teori ini penting karena menjelaskan bahwa persepsi nyeri bukan hanya hasil dari proses fisiologis, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor psikologis. Ini menjadi dasar pendekatan pengobatan modern yang melibatkan kombinasi terapi fisik dan psikologis. (Mendell, 2014).



Gambar 2. Jalur anatomi nyeri kronis dan neurotransmitter (Guzzi et al., 2024).

Gambar ini mendeskripsikan jalur anatomi asenden dan desenden dari modulasi nyeri. Pada panel bagian dalam, neurotransmitter (digambarkan sebagai kotak) dan reseptor (digambarkan sebagai bentuk V) diilustrasikan. Ini termasuk GABA (merah), glisin (hitam), opiat (coklat), norepinefrin (abu-abu), glutamat (hijau), zat P (biru muda), dan serotonin (ungu), masing-masing dengan aktivitas penghambatan (-) atau rangsangan (+) yang diindikasikan.

Kerusakan jaringan akan menimbulkan potensial aksi akibat rangsangan nyeri akan terus menerus disampaikan ke kornu dorsalis medula spinalis. Hal ini menyebabkan sensitisasi neuron di kornu dorsalis dan dapat menyebar ke sinapsis di sekitarnya. Hal ini akan menyebabkan terjadinya berbagai perubahan pada sistem saraf aferen maupun neuron di jaringan ganglion radix dorsalis maupun kornu dorsalis.

Akibatnya terjadi hipereksitasi karena gangguan pada jalur inhibisi nyeri. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya allodinia maupun hiperalgesia sebagai akibat adanya sensitisasi sentral. Sensitisasi sentral menyebabkan input atau stimulus normal mulai menghasilkan respons abnormal. Sensitisasi sentral berperan dalam terjadinya alodinia taktil, yaitu rasa sakit yang ditimbulkan oleh sentuhan ringan pada kulit, dan untuk penyebaran nyeri hipersensitivitas di luar area jaringan yang rusak.

Sensitisasi sentral terjadi pada sejumlah gangguan nyeri kronis seperti nyeri punggung bawah, osteoarthritis, fibromyalgia, nyeri kepala, *carpal tunnel syndrom*, gangguan temporomandibular, dan epikondilalgia lateral. Meskipun telah ada peningkatan pengetahuan tentang proses yang mengarah ke sensitisasi sentral, tetapi sampai saat ini nyeri masih sulit untuk diobati secara permanen. Proses sensitisasi perifer dan sentral memiliki peran penting dalam kronisitas NPB. Pada kenyataannya, perubahan pada postur tubuh dapat dengan mudah terjadi inflamasi jangka panjang pada persendian, ligamen, dan otot yang terlibat dalam stabilitas punggung bawah, berkontribusi pada sensitisasi perifer dan sentral. Selain itu, sendi, diskus, dan tulang dipersarafi oleh serat A delta yang memberikan rangsangan yang kontinyu sehingga dengan mudah berkontribusi pada sensitisasi sentral.

Saat ini peran plastisitas kortikal pada nyeri kronik cukup menjadi perhatian. Beberapa studi menemukan adanya perubahan struktural dan fungsional di otak pada pasien dengan nyeri kronik. Adanya pemahaman tentang perubahan plastisitas kortikal pada NPBK dapat memberikan peran terhadap manajemen nyeri yang lebih baik. Studi menyebutkan pasien dengan nyeri kronis menunjukkan perubahan struktural dan fungsional yang menonjol pada korteks insular, yang ditandai dengan berkurangnya materi abu-abu, gangguan konektivitas fungsional dengan jaringan frontoparietal, dan peningkatan aktivasi selama pemrosesan rangsangan yang menyakitkan. (Zeng et al., 2025). Penelitian lain menemukan adanya penurunan yang signifikan pada kepadatan *grey matter* di korteks prefrontal dan thalamus yang pada akhirnya mengganggu ritme talamokortikal yang berperan pada pemrosesan nyeri. Terjadinya nyeri kronik mengaktivasi hipotalamus-pituitari-adrenal (HPA) aksis yang memegang peran dalam terjadinya nyeri kronik. nyeri akan memicu hipotalamus melepaskan *corticotoreleasing hormon* (CRH) yang kemudian merangsang kelenjar pituitari melepaskan *adrenocorticotropin hormon* (ACTH), selanjutnya ACTH akan merangsang pelepasan kortisol dari kelenjar adrenal. Kortisol yang meningkat dapat memperburuk respon inflamasi hingga mempengaruhi nyeri (Nees et al., 2019). Larie et al menemukan adanya aktivitas gelombang otak yang berlebihan pada pasien NPBK dibanding kontrol sehat. Perubahan gelombang otak ini diasumsikan memainkan peran penting neuroplastisitas kortikal dalam kronifikasi pada pasien dengan nyeri punggung bawah kronik (Larie et al., 2023)

Hasil pencitraan radiologi memiliki korelasi yang lemah dengan gejala maupun intensitas nyeri punggung bawah. Hal ini sejalan dengan studi *cross sectional* yang dilakukan terhadap orang yang tidak bergejala berusia 60 tahun atau lebih, ternyata 36 % mengalami herniasi diskus, 21 % dengan stenosis canalis spinalis, dan lebih dari 90% orang yang mengalami degenerasi diskus intervertebralis (Allegri et al., 2016). Hal ini menunjukkan bahwa intensitas nyeri yang dialami akan berbeda- beda tiap orang walaupun dengan derajat severitas penyakit yang sama.

Nyeri merupakan hal yang bersifat subjektif dan dapat dipengaruhi oleh banyak faktor. Penilaian nyeri pada umumnya menggunakan skala intensitas nyeri baik yang unidimensi maupun multidimensi. Skala nyeri yang paling sering atau umum digunakan adalah *numeric pain rating scale (NPRS)* yang bersifat unidimensi. NPRS dapat digunakan dalam penelitian untuk menilai perubahan yang bermakna secara klinis

dalam intensitas nyeri. Pada NPRS pemeriksa dapat menilai nyeri menggunakan skala rentang 0 hingga 10, dimana skala 10 berarti nyeri yang sangat hebat (tidak dapat ditahan oleh pasien), skala 7-9 adalah nyeri berat (nyeri yang menyebabkan tidak dapat beraktivitas), skala 4-6 nyeri sedang (terdapat gangguan beraktivitas), skala 1-3 nyeri ringan (nyeri dapat ditahan dan hanya sedikit mengganggu aktivitas), dan skala 0 berarti tidak ada nyeri (Childs et al., 2005).

Pendekatan non farmakologis yang dapat diberikan untuk mengurangi nyeri punggung bawah antara lain meliputi terapi manual, pijatan, olahraga, akupunktur, manipulasi tulang belakang, terapi perilaku-kognitif, terapi musik, yoga, pilates, atau pemulihan fungsional. Strategi perilaku kognitif, sensorik atau motorik yang bertujuan terutama untuk mengurangi rasa nyeri melalui plastisitas kortikal karena sensorimotor atau stimulasi kognitif. Teknik-teknik tersebut telah terbukti cukup efektif untuk mengurangi NPBK (Alemanno et al., 2019), (Maher et al., 2017).

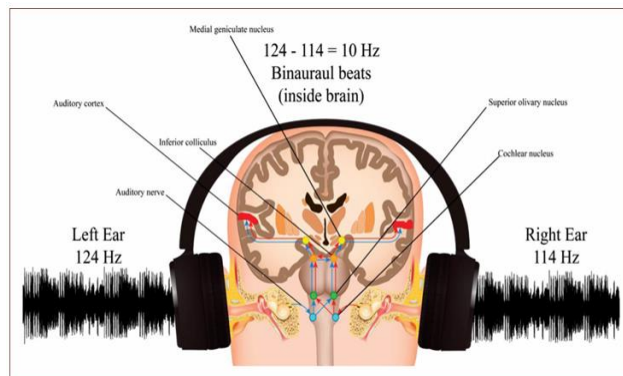
Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, musik sebagai terapi dijadikan salah satu pendekatan non farmakologis berdasarkan bukti penelitian terhadap berbagai masalah kesehatan. Penelitian yang dilakukan oleh Bringman et al menunjukkan bahwa musik terbukti berperan dalam mengurangi stres, ansietas, bahkan nyeri pada prosedur preoperatif (Bringman et al., 2009). *Musik induced analgesia* (MIA) didefinisikan sebagai pengurangan persepsi nyeri yang dialami oleh pasien setelah mendengarkan musik, dan efeknya telah dilaporkan pada keadaan nyeri kronis seperti nyeri punggung bawah, osteoarthritis, dan fibromialgia. Penghambatan nyeri endogen tergantung pada *descending pain modulatory system* (DPMS) atau sistem modulasi nyeri desenden, dengan area yang terlibat seperti *dorsolateral prefrontal cortex* (DLPFC), *periaqueductal gray matter* (PAG) dan *rostral ventral medulla* (RVM). Dengan demikian, mekanisme MIA yang mungkin adalah top-down melalui DPMS, mengakibatkan efek sekunder seperti mekanisme kognitif dan emosional seperti distraksi, emosi, relaksasi (Mercadillo & Garza-Villarreal, 2023).

Musik diketahui meningkatkan pengeluaran hormon endorfin yang mana memiliki efek relaksasi pada tubuh. Endorfin juga berperan sebagai ejektor dari rasa rileks yang menimbulkan perasaan tenang, mesencephalon mengeluarkan *Gaba Amino Butyric Acid* (GABA) yang berfungsi menghambat konduksi impuls listrik dari satu neuron ke neuron lainnya oleh neurotransmitter di dalam sinaps. Midbrain juga mengeluarkan enkafalin dan beta endorfin. Zat-zat tersebut dapat menimbulkan efek analgesia yang mengeliminasi neurotransmitter rasa nyeri pada pusat persepsi dan interpretasi sensorik somatik di otak sehingga menyebabkan berkurang atau hilangnya rasa nyeri yang dirasakan seseorang (Nisson, 2009), (Merrill & Amin, 2021).

Musik yang digunakan untuk terapi biasanya adalah musik instrumental tanpa lirik. Musik klasik menjadi jenis musik yang paling sering digunakan untuk terapi. Hal ini dikarenakan musik klasik dianggap memiliki ritme yang stabil, pelan, frekuensi rendah, melodi yang menenangkan membuat tubuh menjadi lebih rileks saat mendengarkannya. Musik klasik menurut Wolfgang Amadeus Mozart memiliki 60-80 beat per menit yang selaras dengan detak jantung manusia hingga memberikan efek relaksasi dan mengurangi nyeri (Thoma et al., 2013), (Jenkins, 2001). Selain musik, berkembangnya ilmu pengetahuan juga telah membawa informasi baru tentang penggunaan binaural beat sebagai terapi yang cukup menjanjikan. Agak sedikit berbeda dengan musik yang memiliki frekuensi tetap, binaural beat berasal dari pengaturan 2 nada.

Binaural Beat (BB), yang pertama kali dijelaskan oleh Oster (1973), merupakan salah satu metode *brain wave entrainment* (BWE) dengan menggunakan stimulasi auditorik. Binaural beat auditorik adalah fenomena yang terjadi oleh karena adanya dua

nada yang hampir sama tetapi dengan frekuensi yang sedikit berbeda dan masuk sebagai fluktuasi nada tunggal. Fluktuasi nada tunggal dianggap sebagai modulasi amplitudo dengan frekuensi yang menyamai perbedaan frekuensi dari dua nada tersebut (Garcia-Argibay et al., 2019). Dua bunyi yang koheren dari frekuensi mirip diberikan pada masing-masing telinga. Frekuensi yang muncul sebagai respons di otak merupakan selisih dari perbedaan frekuensi kedua nada tersebut (V. Sharma et al., 2019).



Gambar 3. Binaural beats (Aparecido-Kanzler et al., 2021)

Oleh karena itu, seperti gambar diatas (**gambar 3**) bila satu nada dengan frekuensi 124 Hz ke satu telinga dan 114 Hz ke yang lain, maka frekuensi respons yang muncul di otak adalah 10 Hz. Hal ini akan menstimulasi otak untuk menyesuaikan gelombang (sinkronisasi) menjadi gelombang alfa 10 Hz. Hanya dengan menyajikan musik yang sama melalui dua pengeras suara yang sedikit bergeser waktunya memungkinkan terciptanya frekuensi rendah seperti itu. (Orozco Perez et al., 2020). Frekuensi ketiga yang muncul inilah yang disebut irama binaural / binaural beat (Abeln et al., 2014). Hilang timbulnya volume nada yang diberikan memiliki frekuensi yang sama dengan perbedaan antara dua nada murni yang disajikan, asalkan impuls asli < 1000 Hz dan perbedaan antara kedua nada adalah antara 1 Hz dan 30 Hz. Frekuensi nada pembawa disarankan mendekati 400 Hz untuk menghasilkan binaural beat yang jelas (S. Sharma et al., 2017) (Aparecido-Kanzler et al., 2021).

Pada kondisi nyeri kronik terjadi peningkatan aktivitas berlebihan di talamus, korteks cingulate, dan insular. Sebaliknya, terjadi penurunan aktivitas pada prefrontal korteks, amigdala, dan hipokampus. Pada saat seseorang mendengarkan binaural beats, irama dan nada yang masuk ke *canalis auditorius* akan dihantarkan sampai ke talamus sehingga memori di sistem limbik aktif secara otomatis mempengaruhi saraf otonom yang disampaikan ke talamus dan kelenjar hipofisis dan memberikan respon terhadap emosional melalui umpan balik ke kelenjar adrenal untuk menekan pelepasan hormon stres sehingga tubuh menjadi rileks. Pada saat seseorang berada dalam keadaan rileks, tubuh akan secara alami mengeluarkan hormon endorfin dan serotonin yang merupakan analgesik alami dari tubuh sehingga mengurangi persepsi nyeri seseorang. Endorfin (endogen morfin) memiliki mekanisme opiod endogen yang berperan sebagai neuromodulator dalam pemrosesan nyeri (Cabral-Calderin & Henry, 2022). Endorfin yang dihasilkan menghambat pelepasan neurotransmitter lain seperti substansi P dan glutamat yang berperan pada transmisi nyeri ke otak. Stimulasi alfa menyebabkan peningkatan kekuatan alfa di korteks prefrontal yang akan

merangsang pelepasan GABA yang berfungsi untuk menurunkan eksitasi neuron dan menghambat transmisi sinyal nyeri ke otak dan menyebabkan terjadinya relaksasi. Selain itu peningkatan aktivitas alfa di insular menyebabkan penurunan aktivitas insular yang berperan dalam pemrosesan sensorik dan emosional nyeri. berkaitan dengan penurunan hipersensitivitas terhadap stimulus nyeri. Selain itu, terjadi peningkatan alfa di korteks cingulate akan menurunkan aktivitas korteks cingulate anterior selanjutnya merangsang pengeluaran serotonin dari nukleus rafe hingga menurunkan eksitasi neuron.

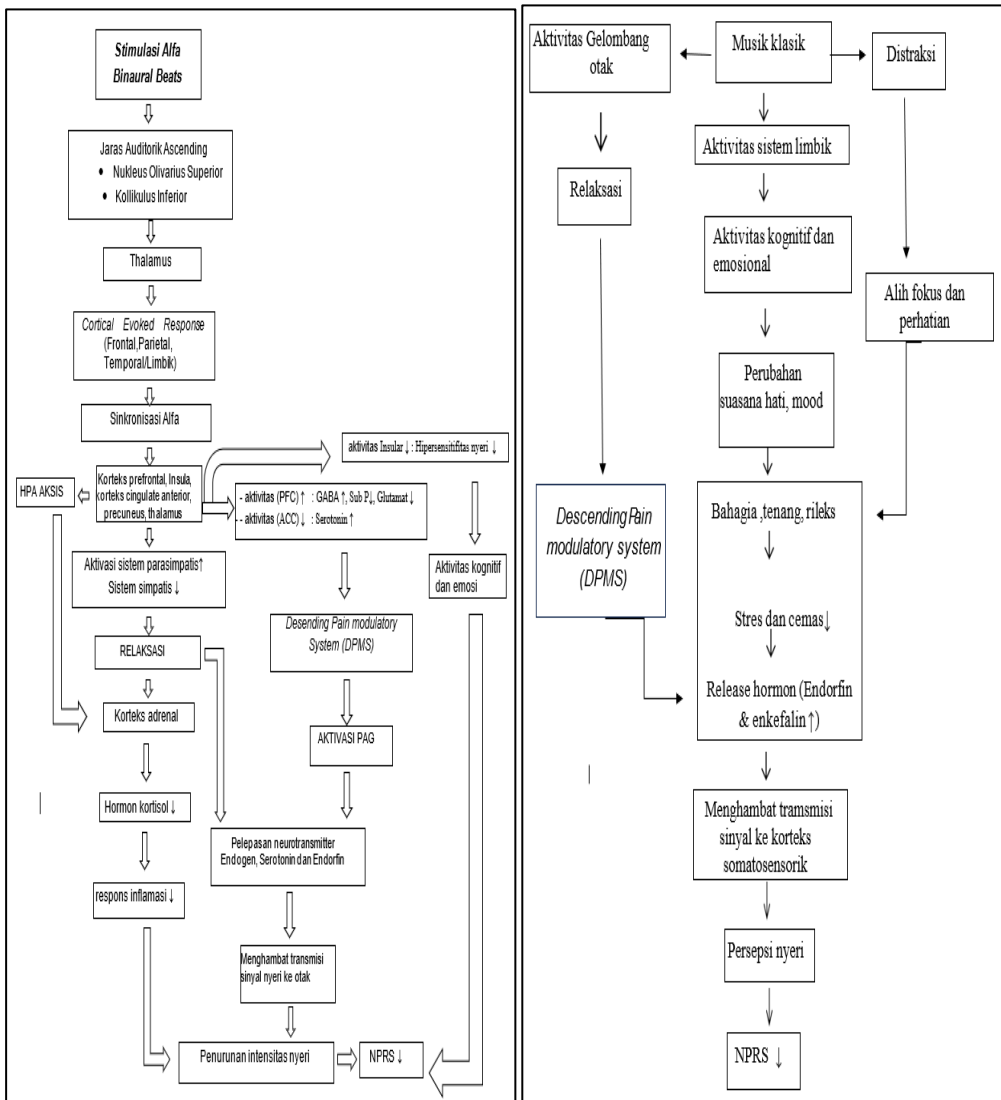
Studi yang dilakukan menjelaskan bahwa pengaruh binaural beat berefek pada relaksasi yang membuat pasien dapat mengontrol diri ketika terjadi rasa tidak nyaman atau nyeri, stres fisik dan emosi pada nyeri (Ölçücü et al., 2021). Pada proses entrainment, aktivitas gelombang otak secara alamiah akan beradaptasi dengan frekuensi rangsangan yang membuat frekuensi tersebut menonjol di seluruh korteks. Seperti diketahui, gelombang alfa (8-13Hz) berhubungan dengan keadaan relaksasi dan meditasi. *Brain wave entrainment* 10 Hz menghasilkan peningkatan signifikan terhadap kekuatan alfa di korteks cingulate dan prekuneus. Prekuneus diketahui sebagai bagian otak yang terlibat dalam pengalihan perhatian ke lokasi spasial yang berbeda yang pada akhirnya berhasil memicu proses analgesik (Ecsy et al., 2018).

Studi *neurofeedback* pun telah mengembangkan teknik teknik baru tentang pelatihan otak untuk meningkatkan kekuatan alfa yang ternyata berhubungan dengan pengurangan nyeri kronis jangka panjang (Jensen, Gertz et al., 2013). Binaural beats telah terbukti efektif pada beberapa jenis nyeri kronik serta faktor penyerta nyeri seperti stres dan cemas yang sering terjadi bersamaan dengan nyeri kronik. Binaural beats dikatakan mampu mempengaruhi aktivitas kortikal baik mengurangi atau meningkatkan stimulasi di otak. Dalam penelitiannya, Lovati et al menunjukkan efek stimulasi binaural beats selama 8 menit per hari terhadap pengurangan signifikan pada intensitas, frekuensi nyeri, tingkat kecemasan, serta penurunan penggunaan analgesik pada nyeri kepala migrain. (Lovati et al., 2019). Gkolias et al dalam penelitiannya menyebutkan pemberian 30 menit intervensi binaural beats selama seminggu menunjukkan reduksi intensitas nyeri, stres, dan penggunaan analgesik dibandingkan kontrol pada pasien nyeri kronik. (Gkolias et al., 2020)

Banyak penelitian yang telah dilakukan dan dikembangkan tentang efektivitas binaural beats sebagai terapi non farmakologis non invasif yang dapat memodulasi gelombang otak yang pada akhirnya dapat menekan sensitivitas sentral dan perifer pada nyeri punggung bawah kronik. BB juga berperan dalam mengatasi gangguan depresi, cemas, stres, kognitif perilaku, memori, mood, gangguan tidur. Dari studi literatur, tercatat sebanyak 82,35% diantaranya menyatakan bahwa stimulasi dengan audio binaural lebih efektif dibandingkan kelompok kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat potensi binaural beats sebagai intervensi non invasif yang aman, mudah, murah, dan efektif untuk mengatasi berbagai kondisi terkait gangguan neurologis (Ölçücü et al., 2021)

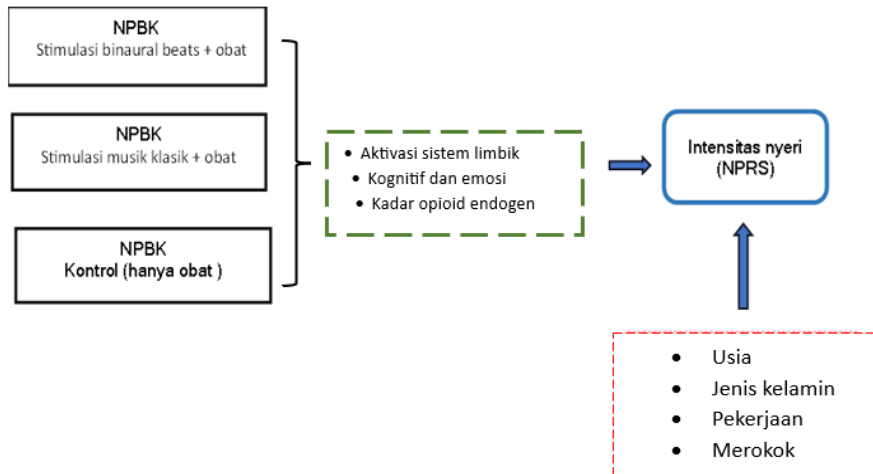
1.6.2 Kerangka Teori

Berdasarkan kajian teori yang telah dibahas, berikut kerangka teori dari penelitian ini.



Gambar 4. Kerangka Teori Binaural Beats dan Musik Klasik

1.6.3 Kerangka Konsep penelitian



Keterangan :



Gambar 5. Kerangka Konsep