

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nyeri kepala merupakan keluhan yang sering dialami, ditandai oleh sensasi nyeri atau rasa tidak nyaman yang muncul di area kepala atau leher bagian atas. Kondisi ini bersifat subjektif, dengan tingkat keparahan, lama serangan, dan lokasi nyeri yang bisa berbeda-beda pada setiap individu (De & Tam, 2022). Secara umum, nyeri kepala dibedakan menjadi dua kategori utama, yaitu nyeri kepala primer dan nyeri kepala sekunder. Nyeri kepala primer adalah jenis nyeri kepala yang tidak disebabkan oleh gangguan struktural atau metabolik lain yang mendasarinya, dan mencakup jenis-jenis seperti migrain, *tension-type headache* (TTH), dan *cluster headache*. Sementara itu, nyeri kepala sekunder umumnya timbul sebagai gejala akibat penyakit organik atau infeksi tertentu. Karena penyebabnya yang belum sepenuhnya jelas serta nyeri yang bisa berlangsung lama dan intens, nyeri kepala primer sering berkembang menjadi kondisi yang sulit diatasi atau refrakter. *International Classification of Headache Disorders, 3rd edition* (ICHD-3) menyimpulkan bahwa nyeri kepala primer diklasifikasikan menjadi tiga subtipe utama: migrain, *tension-type headache*, dan *trigeminal autonomic cephalgias* (seperti *cluster headache*), dengan subtipe lain yang lebih jarang dijumpai (“Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) The International Classification of Headache Disorders, 3rd Edition,” 2018).

*Tension Type Headache* (TTH) adalah salah satu bentuk nyeri kepala primer yang paling sering dilaporkan di seluruh dunia. Berdasarkan *International Classification of Headache Disorders, 3rd edition*, TTH didefinisikan sebagai nyeri kepala dengan karakteristik bilateral, bersifat menekan atau mengikat (non-pulsating), berintensitas ringan hingga sedang, dan tidak diperberat oleh aktivitas fisik rutin seperti berjalan atau menaiki tangga. Gejala lain seperti mual biasanya tidak ditemukan, meskipun kadang dapat disertai fotofobia atau fonofobia ringan (“Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) The International Classification of Headache Disorders, 3rd Edition,” 2018). Walaupun gejalanya jarang mengancam jiwa, TTH berdampak signifikan terhadap penurunan kualitas hidup, produktivitas kerja, serta kesejahteraan psikososial penderitanya (Ashina et al., 2021). *Tension-type headache*/nyeri kepala tipe tegang, di sisi lain, umumnya bilateral, menekan, dengan intensitas ringan hingga sedang, dan biasanya tidak diperparah oleh aktivitas fisik rutin atau disertai gejala otonom (Bendtsen L & Jensen R, 2021).

Prevalensi nyeri kepala primer sangat tinggi secara global. Sebuah meta-analisis terbaru yang dipublikasikan tahun 2022 oleh Stovner et al. dalam jurnal *The Journal of Headache and Pain* melaporkan bahwa prevalensi global nyeri kepala aktif pada populasi umum mencapai 52,0%, dengan prevalensi migrain sebesar 14,0% dan TTH sebesar 26,0%. Setiap hari, diperkirakan 15,8% populasi mengalami nyeri kepala (Stovner et al., 2022). Di Indonesia, hasil survei IFLS-5 menunjukkan bahwa

62,1% orang dewasa (usia 20–65 tahun) mengalami setidaknya satu episode nyeri kepala dalam empat minggu terakhir (Barus et al., 2024).

Berdasarkan berbagai tinjauan pustaka, sekitar 64% hingga 77% orang pernah mengalami nyeri kepala setidaknya sekali dalam hidupnya. Sekitar 46% hingga 53% orang mengalami nyeri kepala setiap tahunnya. Namun, angka prevalensi seumur hidup dari nyeri kepala sangat bervariasi, tergantung pada metode survei yang digunakan dari 8% hingga 96%. Lebih dari 90% kasus nyeri kepala merupakan nyeri kepala primer, dan jenis yang paling umum adalah *tension-type headache* (TTH) atau nyeri kepala tipe tegang. Sebagian besar penderita TTH mengalami nyeri kepala episodik, yaitu nyeri yang muncul secara berkala. Hanya sekitar 3,3% dari populasi yang mengalami TTH kronis, yaitu nyeri kepala yang terjadi lebih dari 15 hari dalam sebulan. (Kumar Maity & Naagar, 2022).

Secara epidemiologis, TTH memiliki prevalensi yang sangat tinggi di populasi umum, dengan estimasi prevalensi seumur hidup sekitar 30%–78% pada orang dewasa (Stovner et al., 2022). Prevalensi tertinggi ditemukan pada usia produktif, terutama pada dekade ketiga hingga kelima kehidupan. Kondisi ini berkontribusi besar pada penurunan kualitas hidup dan kerugian ekonomi akibat penurunan produktivitas kerja, ketidakhadiran kerja, maupun penurunan performa saat bekerja (Ashina et al., 2021; Bendtsen L & Jensen R, 2021).

Sejumlah penelitian telah mengevaluasi dampak nyeri kepala terhadap berbagai aspek kehidupan, termasuk produktivitas kerja, status kesehatan, kualitas hidup, serta kesejahteraan psikologis. Penelitian oleh Magnavita (2022) mengkaji determinan nyeri kepala dalam konteks lingkungan kerja, dan mengidentifikasi bahwa peningkatan intensitas nyeri kepala berkorelasi dengan meningkatnya risiko gangguan kecemasan, depresi, sindrom metabolik, obesitas, serta penurunan kadar kolesterol HDL (*High-Density Lipoprotein*). Temuan ini mengindikasikan adanya konsekuensi signifikan dari nyeri kepala terhadap kesehatan mental dan fungsi metabolik (Magnavita, 2022).

Sementara itu, studi oleh Cho et al. (2020) menelusuri peran kualitas tidur terhadap dampak klinis nyeri kepala pada pasien dengan gangguan nyeri kepala primer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas tidur yang buruk secara langsung memperburuk dampak nyeri kepala, terutama pada individu dengan *tension-type headache* (TTH). Selain itu, penurunan kualitas tidur juga berkontribusi secara tidak langsung terhadap peningkatan dampak nyeri kepala melalui peningkatan frekuensi dan intensitas serangan nyeri (Cho et al., 2020).

Terapi farmakologis tetap menjadi pendekatan utama dalam manajemen nyeri kepala primer, meliputi penggunaan analgesik sederhana, NSAID, triptan, serta obat pencegahan seperti antidepresan trisiklik, topiramat, dan CGRP-antagonis (De Goffau et al., 2017). Dalam panduan praktik klinis terbaru oleh Departemen Urusan Veteran AS dan Departemen Pertahanan AS (VA/DoD), terapi farmakologis untuk TTH akut disarankan menggunakan ibuprofen 400 mg atau asetaminofen 1.000 mg sebagai pilihan lini pertama untuk meredakan serangan episodik. Meta-analisis terbaru tentang analgesik sederhana untuk TTH episodik juga menegaskan bahwa ibuprofen dan diklofenak-K menempati peringkat tertinggi dari sisi efikasi dan

keamanan pada parameter “*pain-free* 2 jam” setelah pemberian obat, dibandingkan pilihan lain seperti paracetamol, naproksen, atau ketoprofen (Xie et al., 2024). Pendekatan farmakologis untuk TTH frekuen atau kronik kini melibatkan penggunaan obat preventif, terutama antidepresan seperti amitriptyline, yang dalam studi pengamatan pada pasien post-COVID dengan riwayat TTH terbukti secara nyata mengurangi hari sakit kepala per bulan sebanyak hampir 10 hari setelah 3 bulan pengobatan, dengan efek samping yang relatif jarang menyebabkan penghentian terapi (Gonzalez-Martinez et al., 2022). Namun, terapi jangka panjang dengan obat-obatan ini memiliki keterbatasan serius: NSAID dan analgesik dapat menyebabkan efek samping gastrointestinal (misalnya gastritis dan perdarahan), sedangkan triptan dan antidepresan trisiklik berpotensi memicu efek kardiovaskular dan sistemik (De Goffau et al., 2017). Sementara itu, antidepresan trisiklik dan topiramamat juga sering menyebabkan efek yang menurunkan kualitas hidup, seperti kelelahan, peningkatan berat badan, dan disfungsi kognitif. Selain itu, penggunaan obat akut yang berlebihan seperti analgesik, barbiturat, triptan, atau ergotamin lebih dari 10–15 hari per bulan selama  $\geq 3$  bulan berpotensi menimbulkan *medication overuse headache* (MOH), yang secara paradoks memperburuk frekuensi sakit kepala dan berpotensi menyebabkan kondisi refrakter (Gosalia et al., 2024). MOH menyulitkan kontrol nyeri karena memerlukan penghentian obat akut dan penggantian dengan terapi preventif, yang memicu tantangan baru seperti resistensi terhadap terapi dan gangguan kualitas hidup pasien. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan yang mendesak untuk mengembangkan pendekatan nonfarmakologis atau terapi komplementer sebagai pelengkap terapi konvensional.

Selain analgesik akut dan antidepresan untuk pencegahan, terdapat studi observasi yang menggabungkan terapi fisik dengan terapi farmakologis pada pasien muda (anak dan remaja) dengan TTH dan migrain, yang menunjukkan bahwa kombinasi tersebut (sesi terapi fisik + medikasi) secara signifikan menurunkan frekuensi hari sakit kepala per minggu, intensitas nyeri (VAS), serta skor kecemasan dan depresi, dibandingkan sebelum intervensi. Hal ini menunjukkan bahwa terapi farmakologis bisa lebih efektif bila dikombinasikan dengan intervensi nonfarmakologis (Adachi et al., 2024). Di sisi lain, terapi non-farmakologis semakin mendapat perhatian sebagai intervensi penting, baik sebagai pilihan lini pertama maupun sebagai pelengkap. Terapi perilaku dan psikologis seperti cognitive-behavioral therapy (CBT), pelatihan relaksasi, biofeedback, dan mindfulness terbukti mampu mengurangi frekuensi dan intensitas serangan TTH serta memperbaiki mekanisme coping pasien terhadap stres, kecemasan, dan pola tidur yang sering menyertai kondisi nyeri kepala kronik (Licina et al., 2023). Dalam beberapa dekade terakhir, ketertarikan terhadap intervensi noninvasif berbasis neurofisiologi semakin meningkat, salah satunya adalah stimulasi *auditory* dengan *binaural beats*. Schwarz & Thayer (2017) mendeskripsikan bahwa *binaural beats* adalah fenomena pendengaran yang terjadi ketika dua nada dengan frekuensi yang sedikit berbeda disajikan secara terpisah ke masing-masing telinga, sehingga otak mempersepsikan frekuensi ketiga sebagai *beats* di dalam kepala (Schwarz, D. W., & Thayer, J. F., 2017). Mekanisme dasar dari binaural beat melibatkan *brainwave entrainment*, yakni

kecenderungan aktivitas gelombang otak untuk menyelaraskan diri dengan frekuensi *binaural beats* yang didengar. Bukti neurofisiologis menunjukkan bahwa stimulasi ini dapat memicu respons otak yang terikat pada area temporal (*auditory steady-state responses*), mendukung teori bahwa gelombang otak bisa dipengaruhi secara frekuensi (Ingendoh et al., 2023). Selain itu, metaanalisis oleh Garcia-Argibay et al. (2019) menunjukkan bahwa efek *binaural beats*, termasuk modulasi nyeri, secara konsisten tergantung pada frekuensi dan durasi paparan, meski hasilnya bervariasi (Garcia-Argibay et al., 2019). Terlebih, sejumlah uji klinis telah mencatat bahwa paparan terhadap frekuensi alpha atau delta-alpha tertentu dapat mengurangi persepsi nyeri pada kondisi akut dan kronik, meski diperlukan studi lanjutan untuk memastikan efek klinis jangka panjang (Gkolias et al., 2020).

Chaieb et al (2015) menyimpulkan *binaural beats* (BB) adalah fenomena *auditory* di mana dua nada murni dengan frekuensi sedikit berbeda diperdengarkan secara simultan ke masing-masing telinga melalui headphone. Otak kemudian memproses selisih frekuensi tersebut sebagai sebuah sensasi ritmis internal atau “*beats*”. Misalnya, jika satu telinga menerima nada 400 Hz dan telinga lainnya menerima 412 Hz, maka pendengar akan mengalami persepsi ritme 12 Hz (Chaieb et al., 2015). Proses ini menghasilkan fenomena yang disebut *frequency-following response* (FFR), yakni ketika aktivitas listrik otak beresonansi atau “menyelaraskan diri” dengan frekuensi *binaural beats* yang diperdengarkan (Wahbeh et al., 2007). Mekanisme *entrainment* ini dipercaya dapat memodulasi aktivitas jaringan saraf pusat dan pola gelombang otak. Frekuensi theta (4–7 Hz) biasanya dikaitkan dengan kondisi relaksasi dalam atau meditasi, sementara frekuensi alpha (8–13 Hz) diasosiasikan dengan keadaan relaksasi waspada dan penurunan persepsi nyeri (Zampi, 2016). Dengan merangsang otak pada frekuensi-frekuensi tersebut, BB diharapkan dapat meningkatkan efek relaksasi dan analgesik nonfarmakologis melalui modulasi persepsi nyeri.

Beberapa studi menunjukkan bahwa *binaural beats* pada frekuensi alpha (8–13 Hz) dan theta (4–7 Hz) mampu menstimulasi aktivitas gelombang otak yang berhubungan dengan relaksasi, penurunan kecemasan, dan penurunan persepsi nyeri (Chaieb et al., 2015; Gkolias et al., 2020).

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa BB memiliki potensi sebagai intervensi nonfarmakologis dalam mengurangi nyeri dan meningkatkan relaksasi. Tinjauan sistematis oleh Garcia-Argibay et al. (2019) menunjukkan bahwa BB, terutama dalam rentang alpha dan theta, dapat menurunkan persepsi nyeri akut dan kecemasan (Garcia-Argibay et al., 2019). Gkolias et al. (2020) dalam uji klinis acak menemukan bahwa stimulasi BB pada frekuensi theta (5 Hz) selama 30 menit mampu menurunkan skor nyeri numerik secara signifikan pada pasien nyeri kronis, serta menurunkan kebutuhan analgesik (Gkolias et al., 2020). Studi lain oleh Orozco Perez et al. (2020) pada pasien fibromialgia menunjukkan bahwa stimulasi audio 10 Hz (alpha) meningkatkan aktivitas spektral gelombang alpha pada elektroensefalografi (EEG) dan menurunkan skor nyeri malam hari serta memperbaiki kualitas tidur (Orozco Perez et al., 2020). Efek ini juga terlihat pada pasien ortodontik, di mana BB frekuensi alpha mengurangi intensitas nyeri pasca

pemasangan alat gigi dibanding kelompok kontrol (Aly et al., 2022). Secara umum, temuan ini mendukung bahwa BB dapat menjadi alat bantu efektif dan aman dalam mengelola nyeri tanpa efek samping farmakologis. Hasil ini menunjukkan potensi besar dari *binaural beats* sebagai alat noninvasif, murah, dan aman untuk membantu manajemen nyeri secara komplementer.

Pada survei sistematis terbaru, Shamsi et al. (2024) meninjau 16 studi tentang pengaruh *binaural beats* terhadap nyeri akut dan kronik. Mereka menemukan bahwa frekuensi alpha (sekitar 8–10 Hz) atau kombinasi delta–alpha secara konsisten menghasilkan penurunan nyeri akut, sedangkan evidensi untuk frekuensi theta (4–6 Hz) masih terbatas dan menunjukkan hasil yang bervariasi tergantung pada protokol dan masking suara. Sebagai contoh, salah satu studi pada pasien melakukan kolonoskopi menunjukkan bahwa theta BB (4 Hz) menurunkan persepsi nyeri dibanding kontrol *white noise*. Kombinasi delta hingga alpha serta alpha murni (10 Hz) terbukti lebih efektif dalam mengurangi nyeri setelah tindakan medis seperti phacoemulsifikasi atau *cystoscopy* dibandingkan kelompok kontrol meski dengan risiko bias tinggi (Shamsi et al., 2024). Studi perbandingan yang lebih rinci tentang dampak frekuensi theta dan alpha pada penurunan intensitas nyeri kepala primer dapat memberikan wawasan penting tentang mekanisme neurofisiologis yang terlibat dan membantu mengoptimalkan protokol terapi. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk secara komparatif mengevaluasi pengaruh stimulasi theta dan alpha *binaural beats auditory* terhadap intensitas nyeri pada pasien nyeri kepala primer, dengan harapan dapat mengidentifikasi frekuensi yang lebih efektif atau memberikan rekomendasi terapi komplementer berbasis bukti untuk manajemen nyeri kepala.

## 1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana perbandingan efektivitas stimulasi *Theta* dan *Alpha Binaural Beats Auditory* terhadap perubahan intensitas nyeri pada pasien *Tension Type Headache*?

## 1.3 Hipotesis Penelitian

Stimulasi *Theta Binaural Beats Auditory* memberikan efektivitas yang lebih tinggi dalam menurunkan intensitas nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache* dibandingkan stimulasi *Alpha Binaural Beats Auditory*.

## 1.4 Tujuan Penelitian

### 1.4.1 Tujuan Umum

Untuk menganalisis perbedaan efektivitas antara stimulasi *Theta* dan *Alpha Binaural Beats Auditory* terhadap intensitas nyeri pada pasien yang mengalami *Tension Type Headache*.

### 1.4.2 Tujuan Khusus

1. Untuk menilai intensitas nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache* berdasarkan *Numerical Pain Rating Scale* (NPRS) sebelum dilakukan stimulasi *Theta Binaural Beats Auditory*.

2. Untuk menilai intensitas nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache* berdasarkan *Numerical Pain Rating Scale* (NPRS) setelah dilakukan stimulasi *Theta Binaural Beats Auditory*.
3. Untuk menilai intensitas nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache* berdasarkan *Numerical Pain Rating Scale* (NPRS) sebelum dilakukan stimulasi *Alpha Binaural Beats Auditory*.
4. Untuk menilai intensitas nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache* berdasarkan *Numerical Pain Rating Scale* (NPRS) setelah dilakukan stimulasi *Alpha Binaural Beats Auditory*.
5. Untuk menilai intensitas nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache* berdasarkan *Numerical Pain Rating Scale* (NPRS) sebelum diberikan terapi obat pada kelompok kontrol.
6. Untuk menilai intensitas nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache* berdasarkan *Numerical Pain Rating Scale* (NPRS) setelah diberikan terapi obat pada kelompok kontrol.
7. Untuk membandingkan intensitas nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache* berdasarkan *Numerical Pain Rating Scale* (NPRS) sebelum dan setelah dilakukan stimulasi *Theta Binaural Beats Auditory*.
8. Untuk membandingkan intensitas nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache* berdasarkan *Numerical Pain Rating Scale* (NPRS) sebelum dan setelah dilakukan stimulasi *Alpha Binaural Beats Auditory*.
9. Untuk membandingkan intensitas nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache* berdasarkan *Numerical Pain Rating Scale* (NPRS) sebelum dan setelah diberikan terapi obat pada kelompok kontrol.
10. Untuk membandingkan perubahan intensitas nyeri berdasarkan *Numerical Pain Rating Scale* (NPRS) sebelum dan setelah diberikan intervensi antara kelompok stimulasi *Theta Binaural Beats Auditory*, *Alpha Binaural Beats Auditory*, dan kelompok kontrol.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

### **1.5.1 Manfaat Teoritis**

Penelitian ini dapat memberikan kontribusi dan pengetahuan di bidang neurologi tentang mekanisme kerja stimulasi *Binaural Beats Auditory* dalam modulasi persepsi nyeri, serta perbedaan efek stimulasi *Theta* dan *Alpha Binaural Beats Auditory* terhadap respon nyeri pada pasien dengan *Tension Type Headache*.

### **1.5.2 Manfaat Aplikatif**

Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi klinis dalam pemanfaatan stimulasi *Binaural Beats Auditory* untuk dijadikan metode terapi yang efektif dan noninvasif untuk menurunkan intensitas nyeri pada pasien *Tension Type Headache*.

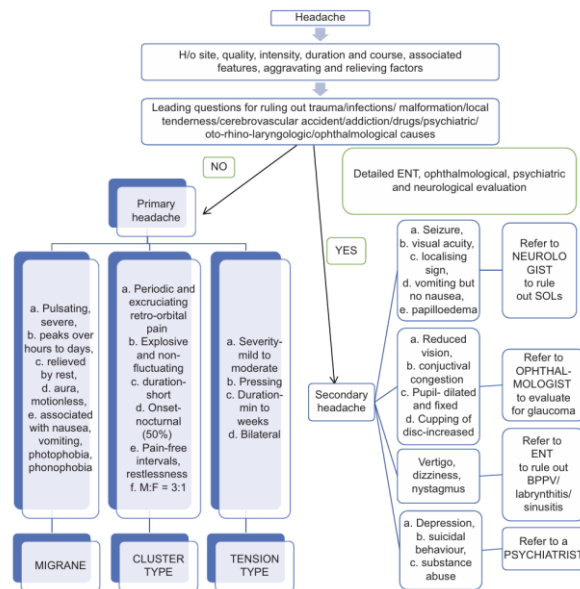
### **1.5.3 Manfaat Metodologi**

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi oleh peneliti lain yang berkeinginan untuk melanjutkan penelitian tentang perbandingan stimulasi *Theta* dan

*Alpha Binaural Beats Auditory* terhadap intensitas nyeri pada pasien *Tension Type Headache*.

## 1.6 Kajian dan Kerangka Teori

Nyeri adalah pengalaman sensorik dan emosional yang tidak menyenangkan yang berkaitan dengan kerusakan jaringan aktual atau potensial, atau digambarkan dalam istilah tersebut (International Association for the Study of Pain, 2020). Persepsi nyeri melibatkan komponen sensorik, afektif, dan kognitif, serta dimodulasi oleh berbagai sistem otak termasuk sistem limbik, korteks prefrontal, dan thalamus (Bushnell et al., 2013).



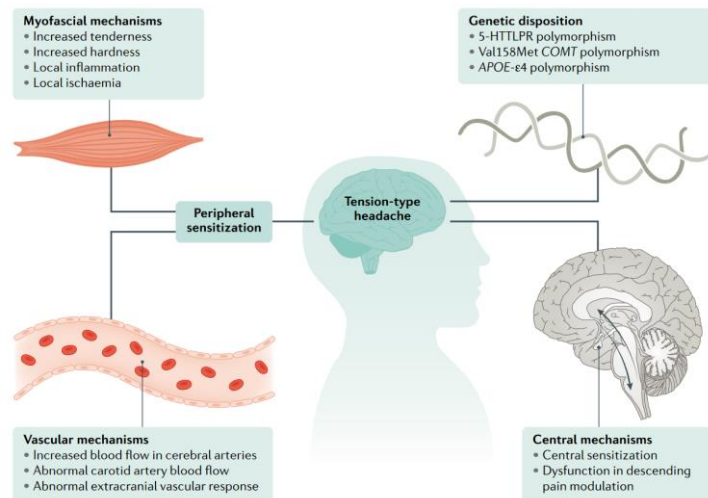
**Gambar 1. Algoritma Klasifikasi Nyeri Kepala (Ravan et al., 2023)**

Nyeri kepala primer merupakan jenis nyeri kepala yang tidak disebabkan oleh kelainan struktural atau penyakit lain yang mendasari. Tiga bentuk utama nyeri kepala primer adalah migrain, *tension-type headache* (TTH), dan *trigeminal autonomic cephalgias* seperti *cluster headache* (CH) (“Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) The International Classification of Headache Disorders, 3rd Edition,” 2018).

*Tension Type Headache* (TTH) adalah jenis nyeri kepala primer yang paling umum, dengan prevalensi global yang tinggi. Berdasarkan International Classification of Headache Disorders edisi ke-3 (ICHD-3), TTH didefinisikan sebagai nyeri kepala yang bersifat bilateral, berintensitas ringan hingga sedang, tidak berdenyut, serta tidak diperberat oleh aktivitas fisik sehari-hari (“Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) The International Classification of Headache Disorders, 3rd Edition,” 2018). TTH biasanya bersifat bilateral, tumpul, dan menekan, tanpa gejala otonomik. *Tension-Type Headache* (TTH) merupakan jenis nyeri kepala primer yang paling sering ditemukan.

Nyeri dengan durasi 30 menit hingga 7 hari yang ditandai dengan rasa sakit yang bersifat bilateral, dengan intensitas ringan hingga sedang, berkarakter menekan atau mengencang (non-pulsatil), tidak memburuk oleh aktivitas fisik rutin, serta biasanya tidak disertai dengan mual maupun muntah. TTH dibagi menjadi dua bentuk utama berdasarkan frekuensinya, yaitu episodik dan kronik. TTH kronik didefinisikan sebagai nyeri kepala yang berlangsung selama  $\geq 15$  hari per bulan selama  $\geq 3$  bulan berturut-turut, dan dapat terjadi hampir setiap hari. TTH kronik umumnya dikaitkan dengan hiperaktivitas otot perikranial, stres psikososial, serta gangguan sistem modulasi nyeri sentral, termasuk penurunan aktivitas jalur *pain inhibitory (descending pain modulatory system)*. Sensitisasi sentral juga berperan dalam kronifikasi nyeri ini, ditandai dengan peningkatan eksitabilitas neuron di sistem saraf pusat terhadap rangsangan nyeri maupun non-nyeri (Ashina et al., 2021; Bendtsen L & Jensen R, 2021).

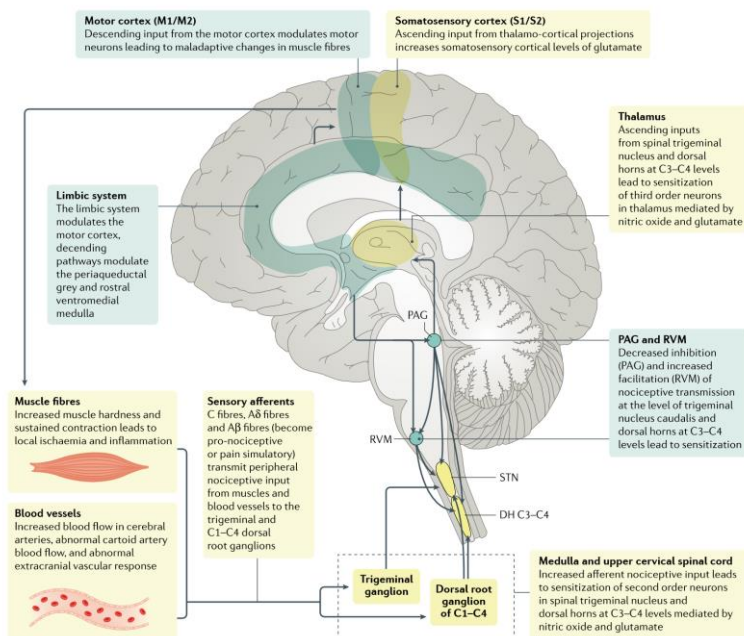
Mekanisme patofisiologi TTH melibatkan faktor perifer dan faktor sentral. Faktor perifer mencakup peningkatan ketegangan otot perikranial, terutama otot frontal, temporal, dan leher bagian belakang. Ketegangan otot ini dapat meningkatkan aktivitas nosiseptor otot dan fascia, menimbulkan rangsang nyeri yang diteruskan melalui cabang saraf trigeminal ke pusat nyeri di batang otak. Kontraksi otot yang berlangsung terus-menerus mengakibatkan penurunan aliran darah lokal, gangguan metabolisme normal sel otot, dan pelepasan mediator nyeri seperti laktat dan asam piruvat. Akumulasi zat-zat ini akan menstimulasi ujung saraf sensorik, menghasilkan sensasi nyeri pada otot maupun ligamen yang memiliki persarafan. Nyeri yang muncul umumnya bersifat tumpul dan sering berlokasi di otot-otot leher bagian belakang, terutama di area oksipital. Selain itu, nyeri dapat menjalar ke sisi kiri dan kanan kepala, bahkan ke daerah retroorbital, mengikuti jalur persarafan terkait. Otot atau ligamen dengan sedikit persarafan biasanya hanya akan menimbulkan sensasi pegal daripada nyeri tajam. Beberapa kondisi tertentu dapat mempermudah terjadinya TTH. Pertama, pasien dengan hipotensi atau anemia memiliki risiko lebih tinggi mengalami TTH karena penurunan suplai oksigen ke otot, yang memicu iskemia otot. Pada kondisi hipotensi, aliran oksigen ke jaringan otot menurun akibat rendahnya perfusi darah, sedangkan pada anemia, jumlah eritrosit sebagai pembawa oksigen berkurang, sehingga oksigenasi jaringan juga menurun. Selain faktor vaskular, stres psikologis dan depresi juga berperan penting. Meskipun bukan faktor pemicu langsung, stres dan depresi memicu kontraksi otot yang berlebihan sehingga suplai oksigen menurun dan mediator nyeri dilepaskan. Dalam keadaan stres, sirkulasi darah otot dapat menurun hingga 50%, memperberat kondisi nyeri kepala. Terakhir, nyeri otot dan stres yang terjadi berulang memicu sensitisasi perifer maupun sentral. Sensitisasi ini menurunkan ambang rangsang nyeri sehingga nyeri lebih mudah timbul, bahkan oleh stimulus yang ringan. Mekanisme ini menjelaskan mengapa pasien TTH dapat mengalami nyeri kronik yang menetap bila faktor pencetus tidak dikendalikan. (Aninditha et al., 2022; Ashina et al., 2021).



**Gambar 2. Patofisiologi *Tension Type Headache* (Ashina et al., 2021)**

Selain itu, sensitisasi sentral juga berkontribusi terhadap keberlanjutan dan kronifikasi nyeri kepala primer. Sensitisasi sentral merupakan peningkatan respons neuron di sistem saraf pusat terhadap rangsangan nosiseptif maupun non-nosiseptif yang berperan penting dalam kronifikasi nyeri kepala primer, seperti *tension-type headache* (TTH). Fenomena ini menjelaskan gejala seperti allodynia (nyeri akibat sentuhan ringan pada kulit kepala) dan hiperalgesia (respon nyeri yang berlebihan terhadap rangsangan ringan) (Zou et al., 2021).

Proses kronifikasi pada Tension Type Headache (TTH) terjadi melalui interaksi mekanisme perifer dan sentral yang saling memengaruhi. Menurut May (2016), kronifikasi TTH terutama berkaitan dengan terjadinya sensitisasi sentral, yaitu peningkatan responsivitas neuron di jalur nyeri pusat akibat stimulasi nosiseptif perifer yang berlangsung berulang. Ketegangan otot perikranial yang menetap memicu aktivasi serabut nosiseptif, menimbulkan impuls nyeri yang secara terus-menerus merangsang sistem saraf pusat. Dalam jangka panjang, proses ini menurunkan ambang nyeri dan meningkatkan risiko terjadinya nyeri yang menetap. Selain itu, gangguan fungsi sistem modulasi nyeri descenden yang melibatkan periaqueductal gray (PAG) dan area korteks prefrontal juga berperan dalam mempertahankan nyeri kepala kronik. Disregulasi pada mekanisme penghambat nyeri ini mempermudah transmisi nyeri yang tidak terkendali. Stres emosional, gangguan tidur, serta faktor psikososial lain turut mendukung kronifikasi dengan meningkatkan ketegangan otot dan menurunkan kemampuan sistem saraf pusat dalam mengendalikan rangsangan nyeri. Oleh karena itu, kronifikasi TTH tidak hanya terkait dengan faktor otot, tetapi juga mencakup perubahan aktivitas pusat pengatur nyeri di otak, yang menjelaskan mengapa pasien dengan TTH kronik sering memerlukan penanganan multimodal. (May & Schulte, 2016)



**Gambar 3. Mekanisme Kronifikasi *Tension Type Headache* (Ashina et al., 2021)**

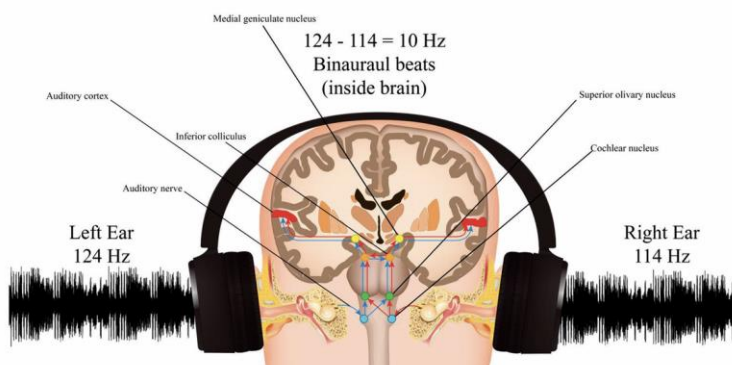
Otak memiliki sistem modulasi nyeri intrinsik, seperti *periaqueductal gray* (PAG) dan *nucleus raphe magnus*, yang bekerja melalui jalur serotonin dan norepinefrin untuk menekan transmisi nyeri. Ketidakseimbangan fungsi modulasi ini berperan dalam patogenesis nyeri kepala primer. Misalnya, hipofungsi sistem inhibisi ini meningkatkan kerentanan terhadap stimulus nyeri biasa yang seharusnya tidak memicu nyeri (Ashina et al., 2021). Selain itu, studi volume otak menunjukkan peningkatan volume PAG pada *medication overuse headache*, menunjukkan gangguan fungsi jalur *descending* ini. Disfungsi ini menyebabkan hilangnya kontrol terhadap persepsi nyeri, memfasilitasi kronifikasi nyeri kepala. Oleh karena itu, intervensi seperti neuromodulasi non-invasif atau terapi *auditory* seperti *binaural beats* bisa menawarkan potensi klinis untuk memperkuat hambatan nyeri endogen melalui pengaktifan kembali jalur PAG–RVM (Chen et al., 2017)

*Neuroimaging* fungsional menunjukkan adanya peningkatan aktivitas di korteks somatosensorik, insula, dan *anterior cingulate cortex*, serta disregulasi pada hipotalamus dan batang otak, bergantung pada jenis nyeri kepala yang dialami. Pemahaman mengenai aspek neuroanatomi dan patofisiologi ini menjadi dasar penting bagi pengembangan terapi neuromodulasi nonfarmakologis, termasuk penggunaan teknik seperti stimulasi *binaural beats auditory*, yang ditujukan untuk memodulasi eksitabilitas kortikal dan memperkuat jalur inhibisi nyeri (Petrušić & Wang, 2025). Dengan pemahaman patofisiologi yang semakin kompleks ini, manajemen nyeri kepala kini tidak hanya berfokus pada pereda nyeri semata, tetapi juga pada pendekatan yang menargetkan plastisitas otak dan sistem regulasi nyeri

sentral. Intervensi nonfarmakologis yang dapat memengaruhi aktivitas otak seperti stimulasi *auditory* ritmik atau teknik relaksasi berbasis *neurofeedback* menjadi topik yang semakin mendapat perhatian karena potensinya dalam memperbaiki fungsi modulasi nyeri (Coppola et al., 2016).

*Binaural beats* adalah *fenomena auditory* di mana dua nada frekuensi berbeda diperdengarkan secara terpisah ke telinga kiri dan kanan. Otak kemudian merasakan sensasi nada ketiga yang beresilasi pada frekuensi selisihnya. Misalnya, nada 210 Hz di telinga kanan dan 200 Hz di telinga kiri menghasilkan persepsi binaural beat 10 Hz. Frekuensi binaural ini berada dalam rentang 1–30 Hz yang mencakup rentang gelombang otak utama manusia (delta, theta, alpha, dll). Hipotesis *brainwave entrainment* menyatakan bahwa stimulasi *auditory* eksternal pada frekuensi tertentu dapat menyebabkan aktivitas EEG otak beresilasi pada frekuensi yang sama. Secara konseptual, nada binaural alpha (misalnya di sekitar 10 Hz) bertujuan menstimulasi kondisi gelombang alpha otak, yang secara tradisional dihubungkan dengan keadaan relaks atau fokus ringan. Sebaliknya, nada binaural theta (misal 5 Hz) berusaha mendorong gelombang theta, yang sering muncul pada relaksasi mendalam, meditasi ringan, atau tidur ringan. Paparan BB di frekuensi-frekuensi ini diharapkan men-*trigger* pola osilasi otak yang sesuai, sehingga mempengaruhi kondisi psikologis maupun fisiologis (misalnya menurunkan kecemasan atau meningkatkan rasa relaksasi) (Ingendoh et al., 2023).

Gelombang otak theta (4–7 Hz) dan alpha (8–13 Hz) berhubungan dengan keadaan relaksasi dan meditasi. Stimulasi dengan *binaural beats* pada frekuensi-frekuensi ini telah menunjukkan potensi dalam mengurangi intensitas nyeri. Sebuah studi menemukan bahwa stimulasi alpha *binaural beats* dapat meningkatkan aktivitas gelombang alpha dan mengurangi aktivitas beta, yang berkorelasi dengan penurunan intensitas nyeri pada pasien dengan TTH. Studi lain menunjukkan bahwa stimulasi theta *binaural beats* dapat meningkatkan kekuatan absolut aktivitas theta di berbagai lobus otak, yang berpotensi berkontribusi pada pengurangan nyeri (Bavafa et al., 2023).



**Gambar 4. *Binaural Beats* (Aparecido-Kanzler et al., 2021)**

Gelombang theta berkaitan dengan relaksasi dalam, *daydreaming*, dan pemrosesan emosional di sistem limbik. Pada individu dengan nyeri kronik termasuk, peningkatan stres dan disregulasi emosi memainkan peran penting dalam eksaserbasi gejala. Stimulasi *binaural beats* theta dapat mengaktifasi sistem limbik (terutama hipokampus dan amigdala) yang berperan dalam pengolahan emosi dan nyeri. Selain itu, stimulasi *binaural beats* theta dapat meningkatkan aktivitas neurotransmitter inhibitori seperti GABA, yang menurunkan eksitabilitas kortikal. Serta, dapat meningkatkan ambang nyeri dengan menurunkan persepsi nyeri subjektif melalui efek relaksasi dan menurunnya aktivasi sistem stres (Gkolias et al., 2020; Shamsi et al., 2024).

Gelombang alpha umumnya dominan dalam kondisi tenang namun sadar, dan berperan dalam inhibisi input sensorik yang tidak relevan. Stimulasi dengan *binaural beats* alpha (8–13 Hz) terbukti meningkatkan aktivitas gelombang alpha di lobus parietal dan oksipital, yang menunjukkan penurunan eksitabilitas sensorik dan penguatan kontrol *top-down* terhadap persepsi nyeri. Sebuah penelitian pada pasien *tension-type headache* menemukan bahwa pemberian audio *binaural beats* alpha selama lima hari secara signifikan meningkatkan kekuatan relatif gelombang alpha serta menurunkan gelombang beta, dengan berkurangnya intensitas nyeri yang dilaporkan secara signifikan ( $p < 0,001$ ) (Asmara et al., 2024). Sebuah studi *feasibility* terbaru menggunakan rangsangan audio-visual 10 Hz sebelum tidur menunjukkan bahwa peningkatan alpha ini berhubungan dengan penurunan nyeri dan kualitas malam yang lebih baik pada pasien nyeri kronik (Halpin, Casson, et al., 2023). Hal ini mendukung konsep bahwa *brainwave entrainment* audio mampu memperkuat jalur *descending inhibition*, seperti *periaqueductal gray* (PAG) dan *nucleus raphe magnus* (NRM), yang memainkan peran sentral dalam hambatan endogen melalui jalur serotoninergik dan noradrenergik. Meskipun bukti neuroimaging langsung terhadap aktivasi PAG–NRM masih terbatas, laporan EEG dan respon nyeri konsisten mendukung ide bahwa modulasi alpha dapat meningkatkan penghambatan sensorik dan mengurangi aktivasi sistem trigeminovaskular secara tidak langsung (Halpin, Tang, et al., 2023).

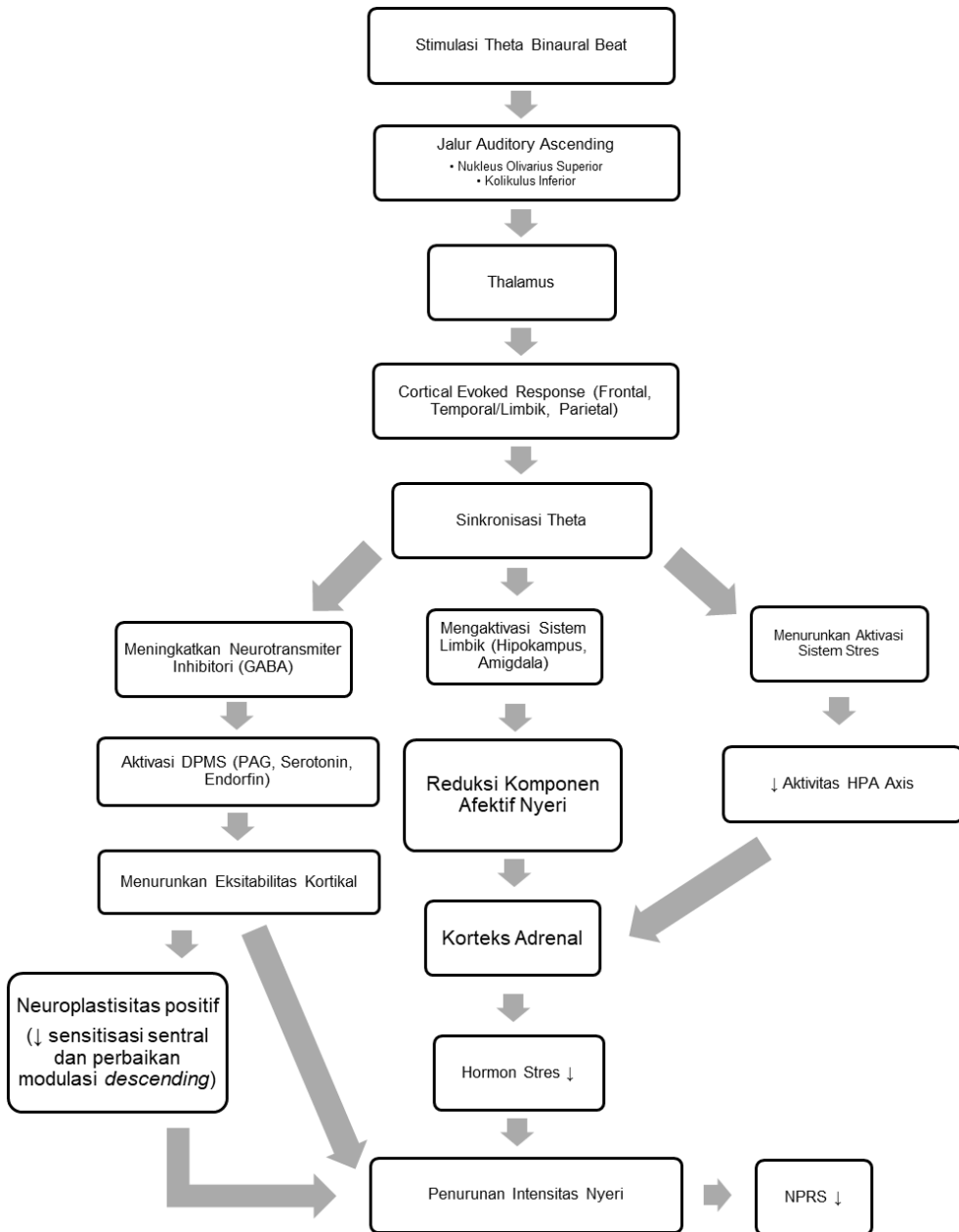
Gelombang otak dalam rentang alpha (8–13 Hz) dan theta (4–7 Hz) secara luas dikaitkan dengan keadaan relaksasi, pengurangan kecemasan, dan penurunan aktivitas emosional terutama melalui modulasi sistem limbik, yang berperan sentral dalam pemrosesan nyeri afektif. Sebuah metaanalisis mencakup 12 studi menemukan bahwa terapi *binaural beats*, terutama dalam frekuensi alpha dan theta, secara signifikan dapat menurunkan kecemasan dan depresi, menunjang efek relaksasi pada sistem limbik seperti amigdala dan *gyrus cingulate* (Baseanu et al., 2024). Selain itu, penelitian pada ibu hamil memperlihatkan bahwa mendengarkan *binaural beats* frekuensi alpha dan beta secara signifikan menurunkan tingkat kecemasan sebelum persalinan ( $p < 0,05$ ), yang secara tidak langsung berdampak pada persepsi nyeri persalinan. Data EEG juga menunjukkan bahwa peningkatan alpha dan theta yang konsisten terkait dengan pengurangan stres emosional dan *central arousal*, mendukung hipotesis bahwa *binaural beats* memediasi modulasi afektif nyeri melalui efek limbik dan jalur *descending* (Ar-Rayyan et al., 2023).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan *binaural beats* dapat mengurangi intensitas nyeri dan kebutuhan analgesik pada pasien dengan nyeri kronis. Dalam sebuah uji coba terkontrol acak, terapi *binaural beats* akustik menunjukkan pengurangan nyeri dan penggunaan analgesik yang signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol. Namun, efektivitasnya dapat bervariasi tergantung pada frekuensi yang digunakan dan karakteristik individu pasien (Gkolias et al., 2020).

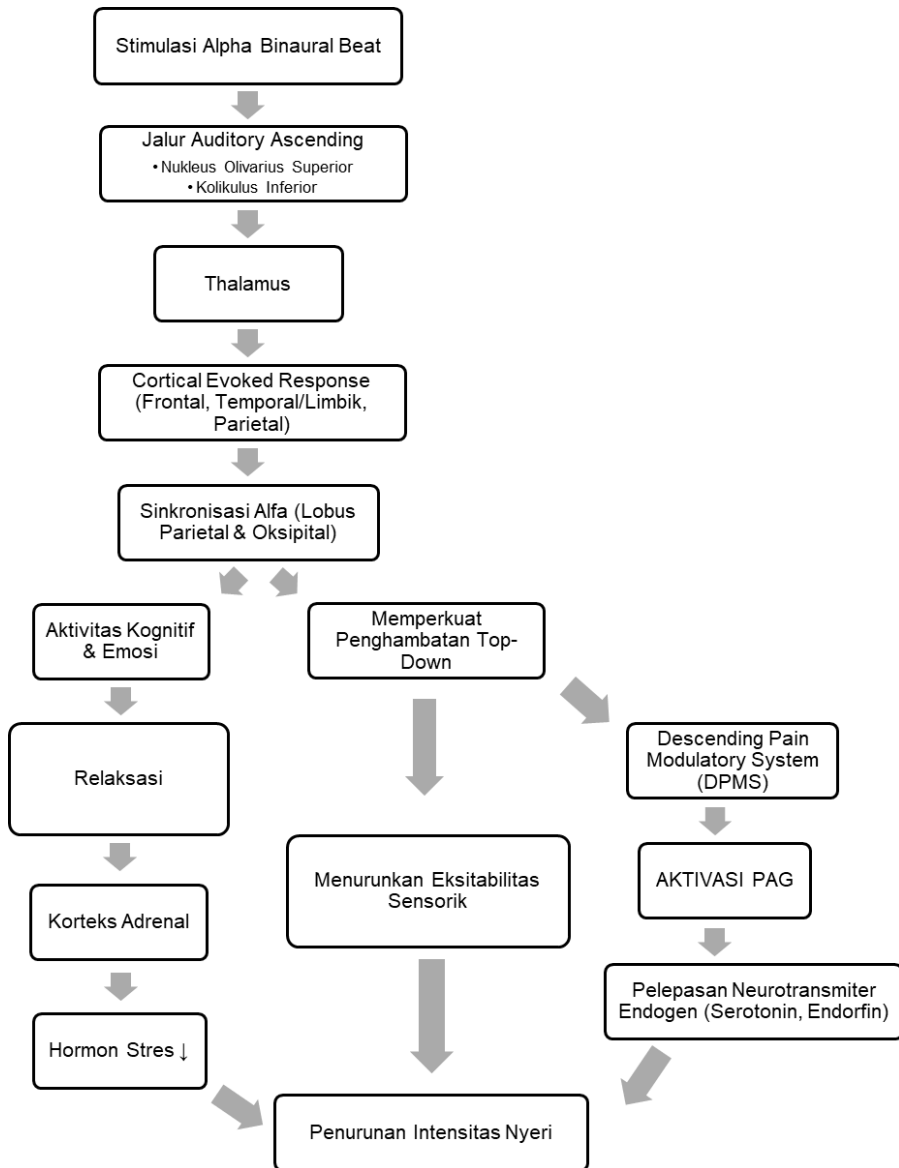
Tinjauan studi ilmiah menunjukkan bahwa paparan *binaural beats* adalah cara yang efektif untuk memengaruhi kognisi, kecemasan, dan persepsi nyeri tanpa pelatihan sebelumnya. Arah dan besaran efek stimulasi binaural beat tergantung pada frekuensi yang digunakan, durasi paparan, dan momen paparan. Paparan sebelum, atau sebelum dan selama tugas, menghasilkan hasil yang lebih baik dibandingkan hanya selama tugas. Periode paparan yang lebih lama juga disarankan untuk efektivitas maksimal (Garcia-Argibay et al., 2019). *Binaural beats* diakui sebagai intervensi nonfarmakologis yang diklaim memiliki efek analgesik pada nyeri akut dan kronis (Zampi, 2016). Beberapa studi melaporkan penurunan kebutuhan analgesik selama operasi atau penurunan nyeri akut yang dirasakan selama prosedur medis setelah stimulasi *binaural beats*. Misalnya, penurunan konsumsi fentanyl dan morfin pasca-operasi telah diamati (Shamsi et al., 2024).

Nyeri kepala primer, seperti *tension-type headache*, memiliki dimensi psikologis yang kuat, termasuk hubungan signifikan dengan stres, gangguan kecemasan, dan disfungsi tidur. Manajemen nyeri yang efektif sering kali memerlukan intervensi yang mampu menurunkan *arousal* sistem saraf pusat dan memperkuat regulasi afektif, karena kedua mekanisme ini kritis dalam persepsi nyeri kronik (Lovati et al., 2019). Metaanalisis oleh Wahbeh et al. (2024) menyimpulkan bahwa terapi *binaural beats*, khususnya frekuensi alpha dan theta, dapat mengurangi kecemasan dan stres secara signifikan dibandingkan kontrol placebo atau *white noise*. Selain itu, studi baru-baru ini menunjukkan bahwa permainan musik *binaural beats* secara konsisten menurunkan tingkat kecemasan dan nyeri pasca-operatif, serta menstabilkan tanda-tanda vital seperti denyut jantung (Wahbeh et al., 2007). Temuan ini mendukung hipotesis bahwa *binaural beats* bukan hanya stimulasi akustik, tetapi juga intervensi psikofisiologis nonfarmakologis yang berpotensi memperbaiki persepsi nyeri utama dengan memperkuat kontrol afektif dan menurunkan pusat *arousal* secara klinis pada pasien nyeri kepala.

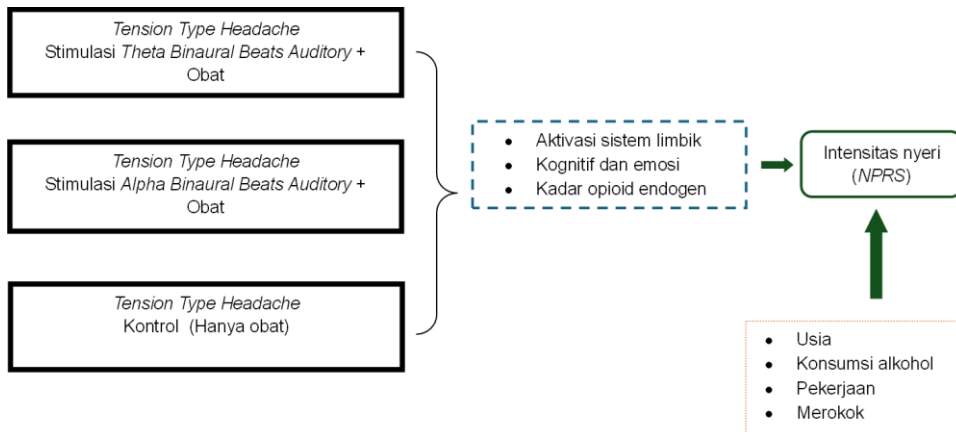
Berdasarkan kajian teori yang telah dibahas, berikut kerangka teori dari penelitian ini.



**Gambar 5. Kerangka Teori Stimulasi Theta Binaural Beat**



**Gambar 6. Kerangka Teori Stimulasi Alpha Binaural Beat**



Keterangan :



: Variabel Bebas



: Variabel Tergantung



: Variabel Antara



: Variabel Perancu

**Gambar 7. Kerangka Konsep Penelitian**