

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Morbus Hansen (MH) merupakan suatu penyakit infeksi kronis yang disebabkan oleh *Mycobacterium leprae*, dengan kecenderungan kuat untuk menginfeksi sel Schwann dan makrofag kulit. Infeksi tersebut memicu terjadinya neuropati perifer yang khas, termasuk pada nervus ulnaris, yang berfungsi sebagai manifestasi klinis awal dan paling signifikan. Neuropati ini dapat berkembang akibat invasi langsung terhadap nervus atau melalui respons imun sekunder yang menginduksi demielinisasi serta degenerasi aksonal. Kerusakan progresif pada nervus ulnaris yang tidak terdeteksi secara dini berpotensi mengakibatkan deformitas permanen pada ekstremitas atas, khususnya tangan (Jardim, 2021; Nascimento, 2013).

Dari perspektif anatomi, nervus ulnaris berasal dari akar ventral segmen C8–T1 dan berjalan di sepanjang sisi medial lengan bawah, melintasi sulkus epikondilus medialis sebelum memasuki kanalis Guyon di daerah pergelangan tangan. Lokasi anatominya yang melalui ruang sempit, seperti cubital tunnel, menjadikannya rentan terhadap kompresi dan inflamasi, khususnya pada individu dengan Morbus Hansen (MH) yang mengalami proses peradangan kronis. Interaksi antara faktor mekanik dan imunologis tersebut memperburuk tingkat keparahan neuropati yang terjadi.

Ultrasonografi nervus perifer saat ini berperan sebagai modalitas pencitraan utama dalam evaluasi morfologi dan patologi nervus ulnaris. Metode ini memfasilitasi pengamatan terhadap ketebalan nervus, alterasi arsitektur epineural, serta penilaian dinamis mengenai gerakan nervus, seperti dislokasi atau subluksasi selama fleksi siku—yang berfungsi sebagai indikator neuropati ulnaris pada Morbus Hansen (MH). Parameter kuantitatif, termasuk cross-sectional area (CSA), dapat diterapkan untuk mengukur derajat keparahan neuropati serta tingkat aktivitas inflamasi (Cambon-Binder, 2021; Mezian, 2021).

Secara klinis, pemeriksaan palpasi atau grading ketebalan nervus masih sering digunakan dalam penilaian dan pemantauan pasien MH. Namun, metode tersebut bersifat subjektif dan sangat bergantung pada pengalaman pemeriksa.

Oleh karena itu, diperlukan pendekatan kuantitatif yang lebih objektif dan *reproducible*, seperti ultrasonografi, untuk mengonfirmasi temuan klinis dan memperkirakan prognosis (Pirola, 2023; WHO, 2020).

Neuropati ulnaris secara klinis ditandai dengan mati rasa, nyeri, dan parestesia pada aspek ulnaris tangan, terutama jari kelima dan sebagian jari keempat, serta kelemahan otot intrinsik tangan yang dapat mengganggu kemampuan motorik halus. Kondisi ini memiliki luaran fungsional yang lebih buruk dibandingkan neuropati perifer lainnya, karena posisi anatomis nervus yang mudah mengalami peregangan dan kompresi (Ghoraba et al., 2019).

Pemeriksaan ultrasonografi resolusi tinggi berperan penting dalam mendeteksi dini perubahan struktural nervus ulnaris, menilai lokasi kompresi, serta memprediksi potensi regenerasi nervus. Temuan pencitraan ini mendukung perencanaan intervensi lebih dini untuk memperbaiki luaran fungsional pasien.

Penelitian sebelumnya menunjukkan adanya korelasi antara peningkatan nilai CSA nervus ulnaris dengan derajat disfungsi nervus berdasarkan pemeriksaan klinis dan elektromiografi. Namun, studi yang secara khusus menilai hubungan antara derajat neuropati ultrasonografi dan grading klinis pada pasien MH, terutama dengan membedakan tipe paucibacillary (PB) dan multibacillary (MB), masih terbatas. Padahal, perbedaan respons imun pada kedua tipe MH tersebut diduga berkontribusi terhadap variasi pola dan tingkat kerusakan nervus (Jardim, 2021; Pirola, 2023).

Dengan mempertimbangkan tingginya prevalensi neuropati ulnaris pada pasien MH serta keunggulan ultrasonografi sebagai modalitas diagnostik non-invasif, sensitif, dan kuantitatif, penelitian ini bertujuan menilai morfologi nervus ulnaris menggunakan ultrasonografi berdasarkan grading ketebalan nervus secara klinis. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan dasar ilmiah bagi pemanfaatan ultrasonografi sebagai alat bantu diagnostik dan monitoring yang akurat dalam manajemen MH, sekaligus berkontribusi terhadap pencegahan deformitas melalui deteksi dini neuropati perifer.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian latar belakang masalah di atas, maka penelitian ini dilaksanakan untuk menilai morfologi nervus ulnaris berdasarkan ultrasonografi dengan grading ketebalan nervus ulnaris secara klinis pada penderita Morbus Hansen

1.3 TUJUAN PENELITIAN

1.3.1 TUJUAN UMUM

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menilai perubahan morfologi nervus ulnaris berdasarkan ultrasonografi dengan grading ketebalan nervus ulnaris secara klinis pada pasien Morbus Hansen di RS Dr Tadjuddin Chalid Makassar

1.3.2 TUJUAN KHUSUS

1. Menilai perubahan ekogenisitas nervus ulnaris dengan ultrasonografi pada pasien MH post pengobatan
2. Menilai perubahan ketebalan nervus ulnaris dengan pengukuran luas penampang melintang (CSA) menggunakan ultrasonografi pada pasien MH post pengobatan
3. Menilai grading ketebalan nervus ulnaris secara klinis pada pasien MH post pengobatan
4. Mengetahui hubungan perubahan ekogenisitas nervus ulnaris berdasarkan ultrasonografi dengan grading ketebalan nervus secara klinis pada pasien MH post pengobatan
5. Mengetahui hubungan perubahan CSA nervus ulnaris berdasarkan ultrasonografi dengan grading ketebalan nervus secara klinis pada pasien MH post pengobatan
6. Mengetahui hubungan perubahan ekogenisitas nervus ulnaris dan CSA berdasarkan ultrasonografi pada pasien MH post pengobatan
7. Mengetahui hubungan perubahan ekogenisitas nervus ulnaris berdasarkan ultrasonografi dengan gejala klinis pada pasien MH post pengobatan
8. Mengetahui hubungan perubahan CSA nervus ulnaris berdasarkan ultrasonografi dengan gejala klinis pada pasien MH post pengobatan

1.4 HIPOTESIS

Terdapat hubungan antara perubahan morfologi nervus ulnaris berdasarkan ultrasonografi dengan grading ketebalan nervus ulnaris secara klinis pada pasien MH.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

1.5.1 Manfaat Teoritis

Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan ilmu radiologi muskuloskeletal, khususnya dalam memperluas pemahaman terhadap nervus perifer khususnya nervus ulnaris berdasarkan ultrasonografi dalam menilai perubahan ekogenisitas dan CSA

1.5.2 Manfaat Metodologis

1. Penelitian ini diharapkan berkontribusi dalam menilai morfologi perubahan nervus ulnaris berdasarkan ultrasonografi dengan grading ketebalan nervus secara klinis, sehingga dapat memperkuat objektivitas dalam mengevaluasi perubahan echogenisitas dan ketebalan nervus ulnaris pada pasien MH post pengobatan
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk penelitian selanjutnya mengenai penerapan dan pengembangan ultrasonografi serta mendorong validasi lebih lanjut dalam evaluasi nervus perifer terutama nervus ulnaris

1.5.3 Manfaat Aplikatif

1. Mendorong penggunaan ultrasonografi neuromuskular secara lebih luas sebagai modalitas diagnostik dan monitoring pada kasus Morbus Hansen
2. Membantu klinisi dalam deteksi dini dan pemantauan progresivitas neuropati, sehingga dapat menunjang pengambilan keputusan terapi dan memperkirakan prognosis pasien secara lebih tepat
3. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pasien terutama apabila pada saat pemeriksaan ultrasonografi didapatkan perubahan morfologi nervus ulnaris sehingga menjadi dasar untuk penanganan lanjutan

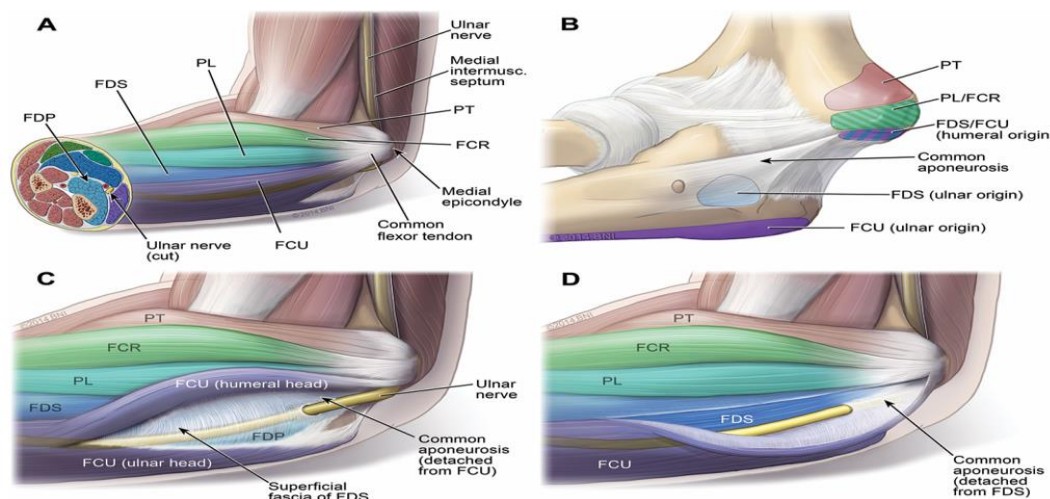
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Anatomi Nervus Ulnaris

Nervus ulnaris merupakan salah satu cabang utama dari pleksus brakialis yang berasal dari akar saraf spinal C8 dan T1, dan melanjutkan perjalanannya melalui medial cord pleksus brakialis untuk kemudian turun mengikuti sisi medial lengan atas bersama arteri brakialis. Nervus ini menembus septum intermuscularis medialis untuk memasuki kompartemen posterior lengan, dan di sinilah ia rentan mengalami kompresi, khususnya pada area arcade of Struthers, sebuah struktur fibrosa yang terbentuk oleh ekspansi aponeurotik dari otot triceps brachii dan ligamentum brakialis internal (Agarwal, 2019).

Pada tingkat siku, nervus memasuki cubital tunnel yang terletak di antara epikondilus medialis dan olekranon, dengan atap dibentuk oleh ligamen Osborne dan dasar oleh bundel posterior *medial collateral ligament (pMCL)*. Ketika siku difleksikan, ligamen ini menegang dan meningkatkan tekanan di dalam kanal, terutama pada sudut fleksi lebih dari 90°, yang menjelaskan memburuknya gejala neuropati saat fleksi siku (Agarwal, 2019; Michelin, 2017).



Gambar 1. Representasi artistik jalur anatomis nervus ulnaris dalam hubungannya dengan struktur muskulo-tendinosa di daerah siku. **A:** Jalur nervus ulnaris dari kompartemen posterior lengan atas menuju kompartemen fleksor lengan bawah bagian tengah. **B:** Representasi skematik dari insersi kelompok otot fleksor-pronator serta septum intermuscular dan aponeurosis umum dari FDS serta kepala humeral FCU. **C:** Elevasi kepala humeral FCU untuk mengekspos jalur nervus ulnaris ke dalam fascia FDS. **D:** Penekanan kepala humeral FCU untuk menunjukkan posisi aponeurosis umum dalam menahan translokasi anterior nervus ulnaris. Keterangan singkatan: FCR = *flexor carpi radialis*; intermusc. = intermuscular; PL = *palmaris longus*; PT = *pronator teres*. Hak cipta Barrow Neurological Institute. Diterbitkan dengan izin (Mahan, 2015).

Setelah melewati cubital tunnel, nervus bergerak ke arah volar lengan bawah dengan menyusuri ruang antara kepala humeral dan ulnar dari otot *flexor carpi ulnaris* (FCU), sebelum memasuki lapisan fascia *flexor digitorum superficialis* (FDS). Di sepanjang perjalanannya di lengan bawah, nervus ulnaris memberikan cabang motorik ke FCU dan separuh medial dari *flexor digitorum profundus* (FDP), kemudian terus berlanjut menuju pergelangan tangan dan memasuki *Guyon's canal*, di mana nervus tersebut akan bercabang menjadi divisi superfisial dan dalam (Mahan, 2015; Paulos, 2015).

Guyon's canal merupakan kanal osteofibrosa di sisi palmar-ulnar pergelangan tangan, dibatasi secara anterior oleh ligamen karpal volar, secara posterior oleh retinakulum fleksor, dan sisi medial oleh tulang pisiform. Kanal ini penting karena merupakan lokasi potensial lain untuk kompresi nervus ulnaris, yang dapat menyebabkan gejala neuropati sensorik dan motorik di tangan. Pada area ini, nervus ulnaris berdekatan dengan arteri ulnaris dan dikelilingi oleh struktur otot hipotenar, menjadikannya sangat kompleks secara anatomi dan berpotensi bervariasi antar individu (Gil, 2015; Bianchi, 2020)

Dalam variasi anatomi, dikenal adanya hubungan anastomotik antara nervus medianus dan ulnaris di lengan bawah seperti anastomosis Martin-Gruber dan Marinacci. Keberadaan koneksi ini memodifikasi distribusi innervasi otot-otot tangan dan berkontribusi pada kompleksitas diagnosis neuropati perifer berbasis gejala klinis. Oleh sebab itu, pemahaman yang rinci mengenai variasi dan jalur anatomi nervus ulnaris sangat krusial, terutama dalam interpretasi ultrasonografi nervus perifer untuk membedakan neuropati akibat MH, trauma, maupun kompresi lainnya (Paulos, 2015; Felipe, 2012).

Neuropati nervus ulnaris pada pasien *Morbus Hansen* dapat menimbulkan deformitas tangan akibat kombinasi kerusakan sensorik dan motorik. Kelemahan atau paralisis otot-otot intrinsik tangan yang diinnervasi oleh nervus ulnaris, seperti *interossei* dan *lumbrikals* ulnaris, menyebabkan hilangnya keseimbangan antara fleksor dan ekstensor jari, sehingga jari keempat dan kelima menekuk membentuk claw hand, yang merupakan deformitas paralitik paling khas pada neuropati ulnaris (Nascimento et al., 2013; Jardim, 2021).

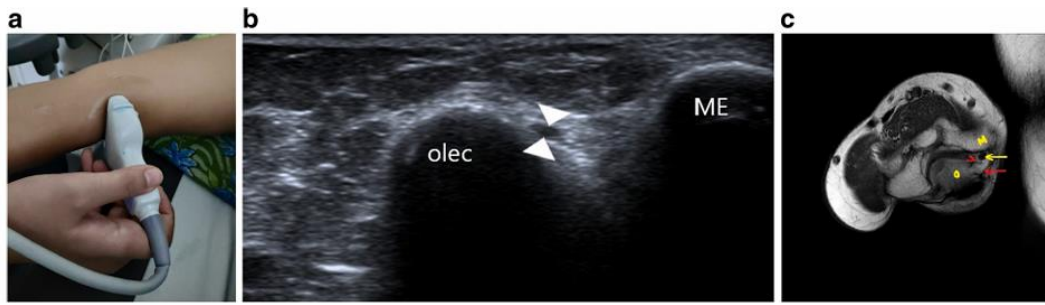
Neuropati nervus ulnaris merupakan salah satu manifestasi klinis paling sering dan bermakna pada pasien *Morbus Hansen*. Keterlibatan nervus ini disebabkan oleh invasi langsung *Mycobacterium leprae* terhadap sel Schwann,

disertai respons imun seluler yang menyebabkan edema endoneural, demielinisasi, dan degenerasi aksonal. Nervus ulnaris memiliki predileksi tinggi terhadap keterlibatan infeksi lepra karena letaknya yang superfisial pada sulkus epikondilus medialis serta melewati kanal sempit seperti *cubital tunnel* dan *Guyon's canal*, yang membuatnya rentan terhadap kompresi sekunder akibat proses inflamasi (Nascimento et al., 2013; Jardim, 2021).

Secara klinis, neuropati ulnaris ditandai oleh nyeri, parestesia, dan mati rasa pada aspek ulnaris tangan, terutama jari kelima dan sebagian jari keempat. Disfungsi motorik menyebabkan kelemahan otot-otot intrinsik tangan seperti *interossei* dan *lumbrikals*, yang menghasilkan deformitas khas berupa ulnar claw hand. Jika proses inflamasi tidak ditangani dengan segera, kerusakan nervus dapat bersifat ireversibel dan berujung pada deformitas serta disabilitas permanen ekstremitas atas (Ghoraba et al., 2019; van Brakel & Khawas, 2018).

Selain faktor infeksi langsung, reaksi imun lepra—khususnya reaksi tipe 1 (reversal reaction)—berperan besar dalam memperberat kerusakan nervus ulnaris. Reaksi ini ditandai oleh peningkatan aktivitas sel T terhadap antigen *M. leprae*, yang memicu peradangan akut pada nervus perifer, termasuk nervus ulnaris. Kondisi tersebut sering disertai nyeri hebat, pembengkakan nervus, serta memburuknya kelumpuhan dan parestesia secara mendadak. Oleh karena itu, deteksi dini dan tata laksana agresif terhadap neuropati ulnaris pada pasien MH menjadi kunci penting dalam mencegah disabilitas fungsional jangka panjang (Gilmore, Roller & Dyer, 2023)

Ultrasonografi resolusi tinggi kini menjadi modalitas penting dalam visualisasi nervus perifer termasuk nervus ulnaris. Dengan teknik pencitraan lintas aksial maupun longitudinal, nervus ulnaris dapat diidentifikasi sebagai struktur hipokoik dengan pola sarang lebah, memungkinkan penilaian terhadap diameter, bentuk, kontinuitas, dan derajat pembesaran nervus secara objektif. Informasi ini sangat esensial dalam evaluasi neuropati akibat MH yang dapat menyebabkan penebalan nervus secara progresif (Agarwal, 2019; Michelin, 2017; Bianchi, 2020).



Gambar 2. **a** Posisi probe untuk menentukan lokasi nervus ulnaris di daerah siku. **b** Nervus (ditunjukkan oleh ujung panah) terlihat dalam potongan aksial pendek di dalam terowongan kubital, terletak di antara epikondilus medialis (ME) dan prosesus olekranon (olec). **c** Citra MRI yang menunjukkan nervus ulnaris normal (panah kuning) dalam terowongan kubital: epikondilus medialis (M) dan prosesus olekranon (O) membentuk dinding medial dan lateral; ligamen Osborne (panah merah) membentuk atap; dan dasar dibentuk oleh kapsul sendi siku serta ligamen kolateral medial (panah merah pendek).⁷

2.2. Vaskularisasi intraneural dan konsep barrier hematoneural

Nervus ulnaris sebagai salah satu cabang terminal dari fasciculus medialis plexus brachialis memiliki struktur histologis yang kompleks dan tersusun atas bundel-bundel fasciculus nervus yang dibungkus oleh tiga lapisan protektif utama: epineurium, perineurium, dan endoneurium. Lapisan perineurium membentuk batas fisiologis yang disebut barrier hematoneural, berperan penting dalam menjaga lingkungan mikro nervus dan melindungi nervus dari fluktuasi metabolik serta toksin sistemik yang beredar dalam plasma (Depukat, 2017).

Vaskularisasi nervus ulnaris sangat bergantung pada sistem vasa nervorum, yakni jaringan pembuluh darah kecil yang menyuplai oksigen dan nutrisi ke dalam jaringan nervus. Vasa nervorum terdiri atas cabang-cabang arteri yang menembus epineurium dan beranastomosis dalam jaringan perineurium dan endoneurium. Kualitas perfusi dari vasa nervorum sangat krusial dalam mempertahankan integritas fungsional nervus, karena iskemia lokal yang terjadi akibat kompresi, infeksi, atau inflamasi kronik dapat menginduksi degenerasi Wallerian dan disfungsi konduksi (Vij, 2020; Kang, 2019)

Dalam konteks barrier hematoneural, perineurium berperan sebagai zona filtrasi selektif yang membatasi difusi zat-zat dari aliran darah menuju endoneurium. Barrier ini memiliki kemiripan fungsional dengan blood-brain barrier (BBB), meskipun secara struktural lebih sederhana. Disrupsi barrier ini pada kondisi neuropatik, seperti pada MH atau trauma, dapat menyebabkan edema endoneural, peningkatan tekanan intrafasikular, serta kerusakan serabut nervus akibat akumulasi sitokin pro-inflamasi (Koszewicz, 2021; He, 2020)

Secara fisiologis, transmisi impuls pada nervus ulnaris sangat dipengaruhi oleh diameter akson dan integritas mielin, di mana gangguan mikrovaskular atau inflamasi kronik dapat menurunkan kecepatan konduksi nervus. Studi morfometrik menunjukkan bahwa peningkatan ukuran penampang nervus pada ultrasonografi kerap berkorelasi dengan adanya edema, infiltrasi seluler, atau degenerasi segmental. Oleh karena itu, ultrasonografi beresolusi tinggi dapat digunakan sebagai metode non-invasif untuk mengevaluasi integritas histologis dan fungsional dari nervus ulnaris, khususnya pada kondisi neuropatik MH yang menunjukkan perubahan vaskular dan struktural progresif pada nervus perifer (Koszewicz, 2021; Vij, 2020; Nobue, 2015).

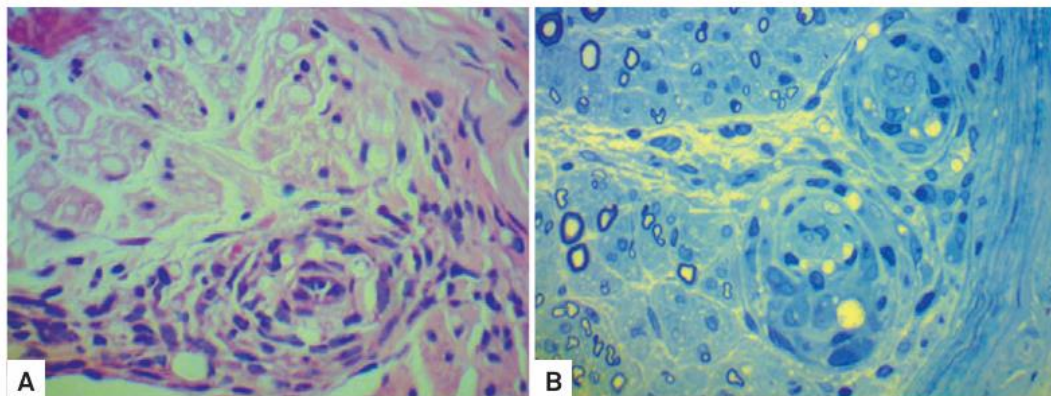
2.2.3. Konduksi impuls nervus dan faktor-faktor yang memengaruhi kecepatan hantar nervus (nerve conduction velocity)

Nervus ulnaris merupakan nervus campuran yang membawa komponen motorik dan sensorik, dengan susunan histologis yang kompleks dan terdiri dari bundel fasikular yang dibungkus oleh endoneurium, perineurium, dan epineurium. Komposisi histologis ini mencerminkan heterogenitas fungsional nervus tersebut, yang memungkinkan transmisi impuls nervus secara cepat dan efisien. Studi mikroskopik menunjukkan bahwa pembagian antara serabut motorik dan sensorik tidak selalu konstan di sepanjang lintasan nervus, dan pada beberapa titik, keduanya berbaur dalam satu fascicle, terutama di segmen proksimal sebelum percabangan terminal terjadi (Depukat, 2017; He, 2020)

Konduksi impuls nervus melalui nervus ulnaris secara fisiologis ditentukan oleh beberapa parameter utama, yakni diameter akson, ketebalan dan integritas mielin, serta panjang internodus Ranvier. Serabut nervus bermielin memiliki kecepatan hantar nervus yang jauh lebih tinggi dibandingkan serabut non-mielin, karena mekanisme saltatori pada nodus Ranvier yang memungkinkan loncatan potensial aksi secara efisien. Diameter akson yang lebih besar juga berkontribusi pada peningkatan kecepatan konduksi, karena resistansi internal yang lebih rendah terhadap arus Listrik (He, 2020; Nobue, 2015).

Kecepatan hantar nervus atau nerve conduction velocity (NCV) pada nervus ulnaris menunjukkan variasi berdasarkan beberapa faktor, termasuk derajat mielinisasi, usia, suhu ekstremitas, serta adanya kompresi atau perubahan

morfologis seperti pembesaran nervus atau fibrosis perineural. Kajian kuantitatif menunjukkan bahwa NCV meningkat secara signifikan pada individu dengan proporsi diameter akson lebih besar dan distribusi fasikular yang homogen. Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa area penampang melintang dari nervus ulnaris tidak selalu berbanding lurus dengan kecepatan hantar nervus, yang berarti bahwa ketebalan nervus secara ultrasonografi belum tentu mencerminkan fungsi konduktifnya secara fisiologis (Koszewicz, 2021; Kang, 2019; Nobue, 2015).



Gambar 3. Neuropati MH: biopsi nervus. Biopsi dilakukan pada cabang superfisial dari nervus ulnaris di tangan kiri. Pasien sebelumnya telah menyelesaikan pengobatan MDT untuk “MH kulit” dan dua tahun kemudian mengalami neuropati multifokal yang nyeri. Pada gambar A, terlihat infiltrat inflamasi perivaskular di endoneurium (pewarnaan H&E, pembesaran 40x); dan pada gambar B, potongan semithin menunjukkan sel busa makrofag yang mengandung basil yang terfragmentasi di dinding pembuluh darah dan di dalam endoneurium (pewarnaan T. blue, pembesaran 100x) (Nascimento, 2013).

Fungsi fisiologis nervus ulnaris juga dapat dipengaruhi oleh kondisi sistemik dan lokal seperti neuropati metabolik (contoh: MH, diabetes), trauma berulang, dan penekanan kronik, di mana akan terjadi perubahan mikroskopik berupa demielinisasi segmental maupun kehilangan aksonal. Proses ini akan memperlambat kecepatan hantar nervus dan berdampak pada manifestasi klinis berupa kelemahan otot intrinsic tangan dan gangguan sensorik pada aspek ulnar jari tangan. Dalam konteks klinis seperti MH, destruksi sel Schwann dan inflamasi granulomatosa kronik menyebabkan kehilangan mielin dan atrofi akson, yang menjadi dasar patologis perlambatan konduksi serta pembesaran morfometrik nervus yang tampak pada ultrasonografi beresolusi tinggi (Koszewicz, 2021; Nascimento, 2013).

2.3. Patofisiologi Neuropati Ulnaris

2.3.1. Mekanisme kompresi dan iskemia

Neuropati ulnaris merupakan salah satu bentuk gangguan nervus perifer yang banyak ditemukan, khususnya pada daerah siku, dan berhubungan erat dengan mekanisme patologis berupa kompresi dan iskemia yang bersifat kronis. Mekanisme dasar terjadinya neuropati ini dimulai dari tekanan berulang atau berkepanjangan terhadap nervus ulnaris, yang secara bertahap menyebabkan gangguan aliran darah mikrovaskular dan peningkatan tekanan endoneural. Kondisi ini mencetuskan iskemia dinamis yang pada awalnya bersifat reversibel, namun akan berprogresi menjadi iskemia menetap apabila tekanan tidak dihentikan, terutama pada posisi fleksi siku yang mempersempit celah kubital dan meregangkan nervus secara mekanik (Omejec & Podnar, 2020).

Proses iskemik yang terus menerus akan menyebabkan kerusakan pada struktur mielin nervus melalui edema subperineural dan demielinisasi segmental, yang tercermin dalam penurunan kecepatan hantar nervus. Bila tekanan tetap berlangsung tanpa intervensi, maka kerusakan akan meluas hingga ke tingkat aksonal, ditandai dengan degenerasi Wallerian. Tahapan progresif ini dapat dikenali melalui perubahan elektrofisiologis berupa blok konduksi dan penurunan amplitudo potensial aksi motorik, serta temuan histopatologis seperti fibrosis perineural dan hilangnya integritas struktur fascicular (Cambon-Binder, 2021; Omejec & Podnar, 2020).

Degenerasi Wallerian sendiri merupakan proses patologis lanjutan dari kerusakan akson, di mana bagian distal dari nervus yang terputus kehilangan viabilitasnya dan mengalami fragmentasi. Dalam konteks neuropati ulnaris akibat kompresi kronis, hal ini merupakan manifestasi dari hilangnya kontinuitas metabolik antara badan sel nervus dan ujung akson distal, yang memicu fagositosis dan respon glial lokal. Gambaran ini sering dikaitkan dengan keluhan klinis menetap seperti kelemahan otot intrinsik tangan, atrofi, dan hilangnya diskriminasi dua titik (Cambon-Binder, 2021; Omejec & Podnar, 2021).

Dari sudut pandang radiologi, pencitraan ultrasonografi beresolusi tinggi (HRUS) memberikan kontribusi penting dalam identifikasi perubahan morfologi nervus, seperti penebalan nervus segmental, hilangnya pola fasikular, serta peningkatan vaskularisasi intraneural yang merupakan penanda neuritis atau

proses inflamasi sekunder akibat kompresi. Dalam banyak kasus, korelasi antara temuan USG dengan derajat neuropati elektrofisiologis atau grading klinis terbukti signifikan, menjadikan ultrasonografi sebagai alat evaluasi non-invasif yang unggul dalam pemantauan progresivitas neuropati ulnaris (Agarwal et al., 2019; Cambon-Binder, 2021).

2.3.2. Penyebab neuropati non-MH (idiopatik, trauma, pekerjaan, tumor, DM)

Neuropati ulnaris merupakan bentuk kedua paling umum dari neuropati kompresi setelah neuropati medianus, dengan distribusi kasus yang cukup luas akibat etiologi non-MH seperti idiopatik, trauma, aktivitas pekerjaan, tumor, dan komplikasi diabetes mellitus. Meskipun secara histopatologis lesi aksonal dan demielinisasi segmental dapat serupa, penting untuk membedakan antara neuropati primer (idiopatik atau hereditas) dan neuropati sekunder akibat tekanan, trauma, atau gangguan metabolik (Vij et al., 2020; Mezian et al., 2021).

Secara idiopatik, banyak kasus neuropati ulnaris tidak menunjukkan kelainan struktural atau pencetus spesifik yang jelas, namun seringkali dikaitkan dengan predisposisi anatomi seperti ketidakstabilan nervus ulnaris di sulkus retroepikondiler atau variasi dalam bentuk tunnel kubital. Neuropati tipe ini dapat berkembang perlahan, seringkali tidak terdiagnosis dini, dan dapat diperberat oleh posisi ekstremitas atas yang tidak ergonomis atau gerakan repetitif (Mezian et al., 2021; Omejec & Podnar, 2017).

Trauma langsung pada siku atau regangan berulang akibat fleksi dan ekstensi siku seperti pada atlet, pekerja manual, atau akibat fraktur di sekitarnya dapat menyebabkan neuropati ulnaris traumatik. Kondisi ini sering menyebabkan kompresi atau peregangan nervus yang berdampak pada konduksi aksoplasmik dan perfusi endoneurial, memicu degenerasi Wallerian serta fibrosis endoneurium bila tidak tertangani dini (Vij et al., 2020; Hewson et al., 2023).

Dari sisi pekerjaan, neuropati ulnaris akibat vibrasi alat berat dan tekanan berulang pada siku seperti penggunaan keyboard dalam waktu lama telah dilaporkan secara luas sebagai occupational cubital tunnel syndrome. Pada kasus ini, posisi pronasi pergelangan dengan siku fleksi menghasilkan tekanan berulang di area retroepikondiler, menyebabkan kompresi dinamis dan mikrotrauma nervus (Mezian et al., 2021).

Sementara itu, massa lokal seperti kista ganglion, lipoma, atau tumor nervus perifer seperti schwannoma juga dapat menekan nervus ulnaris, terutama di daerah pergelangan tangan (kanalis Guyon) atau di siku. Diagnosis etiologi tumor ini sering kali memerlukan konfirmasi pencitraan lanjutan termasuk ultrasonografi resolusi tinggi dan MRI untuk menilai karakteristik lesi dan invasi ke struktur sekitarnya (Vij et al., 2020; Omejec & Podnar, 2017).

Komplikasi metabolik seperti pada diabetes mellitus juga menjadi penyebab signifikan neuropati ulnaris sekunder. Hiperglikemia kronik menyebabkan glikasi protein dan stres oksidatif yang merusak endotel kapiler intraneural, mengganggu aliran darah, serta menyebabkan kerusakan mielin dan axon secara progresif. Hal ini membuat pasien diabetes memiliki risiko lebih tinggi mengalami entrapment neuropathy, termasuk pada nervus ulnaris (Hewson et al., 2023).

Distingsi antara neuropati primer dan sekunder memiliki implikasi diagnostik dan terapeutik yang signifikan. Pada neuropati primer, intervensi konservatif seperti modifikasi postur dan terapi fisik menjadi pilihan utama, sementara neuropati sekunder akibat kompresi atau massa memerlukan evaluasi pencitraan radiologis dan kadang intervensi bedah dekompresi nervus (Cambon-Binder, 2021)

2.3.3. Tanda dan gejala klinis

Neuropati ulnaris merupakan kondisi patologis yang ditandai oleh gangguan fungsional pada nervus ulnaris, yang dapat terjadi akibat kompresi, trauma, atau proses inflamasi kronik seperti pada MH. Secara fisiologis, nervus ulnaris berperan penting dalam mengatur motorik otot-otot intrinsic tangan dan memberikan sensasi pada sisi medial tangan. Kerusakan nervus ulnaris mengakibatkan gangguan transmisi impuls nervus baik secara sensorik maupun motorik, terutama pada segmen retroepikondiler dan kanal kubital, yang menjadi titik rawan kompresi pada siku (Omejec & Podnar, 2020; Cambon-Binder, 2021; Omejec & Podnar, 2017).

Manifestasi klinis utama dari neuropati ulnaris meliputi parestesia atau rasa semutan pada jari keempat dan kelima, yang disebabkan oleh gangguan konduksi impuls sensorik akibat demielinisasi segmental atau kerusakan aksonal di area

kompresi. Gejala ini umumnya muncul secara intermiten dan memburuk saat fleksi siku dalam waktu lama, akibat meningkatnya tekanan di dalam kanal kubital. Seiring progresivitas penyakit, parestesia akan diikuti dengan nyeri pada sisi medial siku dan kelemahan otot-otot tangan yang diinervasi oleh nervus ulnaris, terutama otot hipotenar dan otot interosei, yang dapat menyebabkan atrofi otot dan hilangnya fungsi motorik halus (Cambon-Binder, 2021; Caliandro et al., 2016)

Pada tahap lanjut, pasien dapat menunjukkan deformitas khas berupa claw hand, yaitu fleksi berlebihan pada sendi interphalangeal jari keempat dan kelima dengan ekstensi pada sendi metacarpophalangeal, akibat paralisis otot lumbrikalis dan interoseus. Refleks tendon juga mengalami perubahan, terutama refleks jari yang melemah atau menghilang, tergantung pada derajat kerusakan dan lokasi lesi. Lesi ulnaris yang tidak ditangani secara tepat dapat memicu degenerasi Wallerian, fibrosis perineural, dan hilangnya kontinuitas transmisi neuromuskular, yang berujung pada disfungsi permanen (Omejec & Podnar, 2020; Hewson et al., 2023; Omejec & Podnar, 2019).

Diagnosis klinis neuropati ulnaris umumnya didukung oleh temuan dari pemeriksaan elektrodiagnostik dan ultrasonografi resolusi tinggi. Ultrasonografi berperan penting dalam evaluasi ketebalan nervus dan identifikasi segmentasi morfologi nervus yang abnormal, termasuk deteksi pembesaran nervus pada titik kompresi dan adanya gangguan mobilitas nervus saat dilakukan manuver fleksi siku. Korelasi antara temuan klinis dan radiologis ini penting dalam menentukan tingkat keparahan neuropati dan perencanaan terapi definitif yang sesuai (Omejec & Podnar, 2021; Omejec & Podnar, 2017).

2.4. Neuropati Ulnaris pada MH

2.4.1. Etiologi dan klasifikasi MH

Leprosi atau hanseniasis merupakan penyakit infeksi granulomatosa kronik yang disebabkan oleh *Mycobacterium leprae*, suatu basil tahan asam yang memiliki predileksi spesifik terhadap kulit dan sistem nervus perifer, terutama sel Schwann. Basil ini tumbuh optimal pada suhu lebih rendah dari suhu tubuh inti, sehingga lebih sering menyerang bagian tubuh yang lebih dingin seperti ekstremitas dan wajah, termasuk nervus ulnaris yang menjadi target utama dalam patogenesis neuropati perifer pada MH (Nascimento, 2013; Foss et al., 2013).

Klasifikasi MH secara klinis dan operasional oleh World Health Organization (WHO) dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu *paucibacillary* (PB) dan *multibacillary* (MB). Klasifikasi ini didasarkan pada jumlah lesi kulit dan keberadaan basil tahan asam (acid-fast bacilli/AFB) pada sediaan slit-skin smear. Pasien dikategorikan sebagai PB jika memiliki ≤ 5 lesi kulit tanpa AFB, sedangkan kategori MB mencakup pasien dengan ≥ 6 lesi kulit atau hasil AFB positif. Klasifikasi ini memiliki implikasi penting dalam prognosis dan respons imun, di mana PB umumnya menunjukkan dominasi respons imun seluler (Th1) dan MB mencerminkan dominasi respons humoral (Th2), yang berperan dalam penyebaran sistemik basil (Nascimento, 2013; Pirola et al., 2023; Nogueira-Barbosa et al., 2016).

Secara histopatologis dan imunologis, sistem klasifikasi Ridley-Jopling memberikan detail lebih lanjut tentang spektrum MH berdasarkan aktivitas imun pasien. Tipe tuberkuloid (TT) hingga lepromatosa (LL) mencerminkan gradasi resistensi imun terhadap infeksi. Tipe TT dan borderline tuberkuloid (BT) biasanya memiliki granuloma padat dengan sedikit basil, sedangkan tipe LL dan borderline lepromatosa (BL) menunjukkan infiltrasi basil yang masif dan kerusakan nervus yang difus. Kondisi ini menjelaskan mengapa neuropati perifer, khususnya pada nervus ulnaris, lebih berat dan lebih progresif pada tipe MB dibandingkan PB (Nascimento, 2013; Pirola et al., 2023).

Manifestasi neuropatik pada pasien MH PB dan MB sangat dipengaruhi oleh beban basil dan reaksi imun yang menyertainya. Pada pasien PB, neuropati seringkali lebih fokal dan berkorelasi dengan lesi kulit, sementara pada MB, kerusakan nervus bersifat lebih menyebar dan multipel, termasuk kemungkinan pembentukan abses intraneural dan penebalan nodular yang dapat dikenali melalui sonografi resolusi tinggi (Nascimento, 2013; Foss et al., 2013).

2.4.2. Predileksi *M. leprae* terhadap sel Schwann

Neuropati pada MH merupakan konsekuensi langsung dari kemampuan *Mycobacterium leprae* untuk menginvasi sistem nervus perifer, terutama nervus ulnaris, melalui kecenderungan yang tinggi terhadap sel Schwann. Kecenderungan ini dimediasi oleh interaksi molekuler antara glikoprotein permukaan *M. leprae* seperti *phenolic glycolipid-1* (PGL-1) dengan reseptor laminin-2 pada membran

basalis sel Schwann, memungkinkan bakteri menginvasi dan bertahan di dalam sel glial tersebut tanpa memicu apoptosis dini (Nascimento, 2013; Nogueira-Barbosa et al., 2016; Wellington & Schofield, 2019).

Setelah invasi, *M. leprae* bersifat persisten intraseluler dan memodulasi respons imun lokal, menurunkan ekspresi antigen MHC kelas II pada sel Schwann sehingga menghindari deteksi sistem imun. Namun, seiring waktu, sistem imun inang mengenali invasi ini dan mengaktifkan jalur proinflamasi, termasuk pelepasan sitokin seperti TNF- α , IFN- γ , dan IL-1 β . Sitokin-sitokin ini bertanggung jawab atas aktivasi makrofag, peningkatan permeabilitas vaskular, dan proses inflamasi lokal yang merusak struktur nervus secara progresif (Nogueira-Barbosa et al., 2016; Wellington & Schofield, 2019; Gupta et al., 2016).

Konsekuensi dari infiltrasi bakteri dan mediasi sitokin proinflamasi ini adalah terjadinya demielinisasi segmental, edema endoneural, dan pada tahap lanjut, degenerasi aksonal serta pembentukan abses intraneural. Proses ini menjelaskan temuan klinis yang umum pada pasien MH, seperti penebalan nervus perifer yang teraba, disfungsi sensorimotor, dan deformitas seperti claw hand. Selain itu, reaksi imun sekunder seperti reaksi reversal atau eritema nodosum leprosum (ENL) dapat memperburuk inflamasi dan mempercepat kerusakan struktural nervus (Nascimento, 2013; Nogueira-Barbosa et al., 2016).

Ultrasonografi beresolusi tinggi memainkan peran penting dalam mendeteksi dan memantau perubahan patologis ini secara non-invasif. Nervus yang terinfeksi akan menunjukkan pembesaran CSA (cross-sectional area), hilangnya struktur fasikular internal, perubahan echotexture menjadi heterogen. Kombinasi temuan ini tidak hanya menguatkan diagnosis neuropati MH, tetapi juga menjadi indikator tingkat keparahan yang dapat dikorelasikan dengan grading klinis ketebalan nervus pada inspeksi dan palpasi (Pirola et al., 2023; Nogueira-Barbosa et al., 2016; Gupta et al., 2016).

2.4.3. Manifestasi neuropati pada MH

Neuropati perifer merupakan salah satu komplikasi paling khas dan signifikan dari MH, dengan nervus ulnaris sebagai salah satu nervus yang paling sering terlibat. Manifestasi neuropati pada MH dapat bervariasi mulai dari penebalan nervus perifer, gangguan sensorik, hingga deformitas motorik.

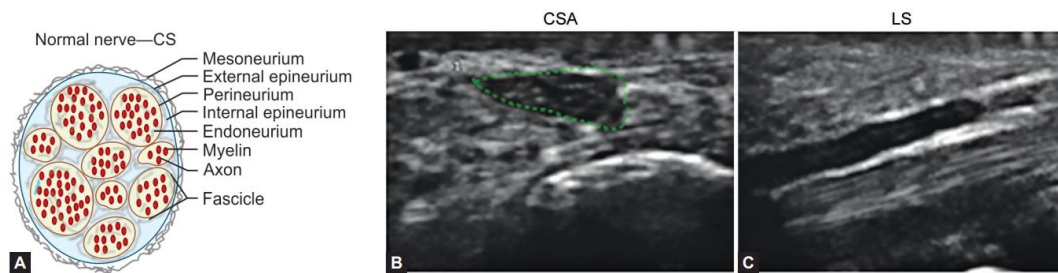
Penebalan nervus merupakan temuan klinis paling awal dan paling umum, sering kali teraba secara manual pada sisi medial siku. Proses penebalan ini terjadi akibat infiltrasi bakteri ke dalam nervus, disertai dengan respons imun inflamasi kronis yang memicu edema, demielinisasi segmental, dan akhirnya fibrosis endoneural. Studi ultrasonografi menunjukkan bahwa nervus yang terlibat akan mengalami peningkatan area penampang lintang (CSA), disertai hilangnya pola fasikular normal serta peningkatan echogenicity pada fase lanjut, yang mencerminkan proses destruktif progresif pada jaringan nervus (Foss et al., 2013; Nogueira-Barbosa et al., 2016; Wellington & Schofield, 2019; Gupta et al., 2016; Lugão et al., 2016; Sharma et al., 2014).

Selain manifestasi struktural, gangguan sensorik merupakan gejala dominan yang sering mendahului kelainan motorik. Pasien umumnya melaporkan penurunan atau hilangnya sensasi sentuhan ringan, temperatur, dan nyeri pada area distribusi nervus ulnaris, terutama pada aspek ulnar dari jari keempat dan kelima. Kondisi ini dapat berupa hipoestesia atau bahkan anestesia total, tergantung derajat kerusakan serabut sensorik. Pada pasien MH tipe multibacillary, distribusi gejala sering bersifat bilateral dan lebih difus, sedangkan pada tipe paucibacillary cenderung lokal dan asimetris. Hypoesthesia pada MH sering kali bersifat selektif terhadap serabut kecil, dan dapat menjadi indikator awal sebelum munculnya kelemahan otot atau deformitas tangan (Foss et al., 2013; Gupta et al., 2016; De Oliveira et al., 2019; Kaur et al., 2016; Rao et al., 2006; Pirola et al., 2023).

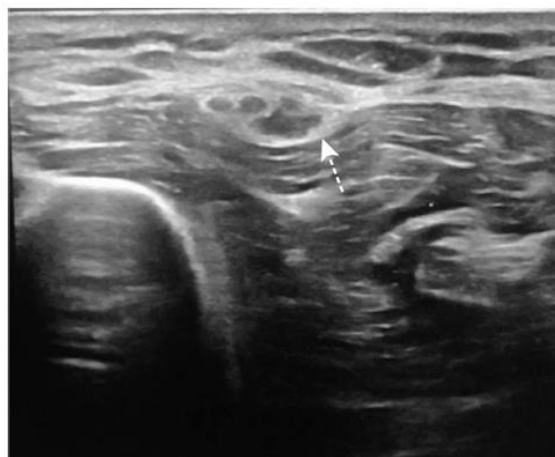
Seiring dengan progresivitas penyakit, kerusakan nervus dapat melibatkan serabut motorik, menyebabkan kelemahan hingga paralisis otot-otot yang diinervasi oleh nervus ulnaris. Kelemahan otot interoseus dan lumbrikalis medial berkontribusi pada deformitas khas yang dikenal sebagai *claw hand*, ditandai dengan fleksi berlebih pada sendi interphalangeal dan ekstensi pada sendi metakarpofalangeal jari IV dan V. Atrofi otot hipotenar juga sering terlihat secara klinis sebagai pengecilan jaringan lunak di sisi medial tangan. Pada kasus lanjut, deformitas dapat bersifat permanen dan sangat memengaruhi kualitas hidup pasien. Adanya paralisis ini merupakan bukti adanya denervasi kronik dan degenerasi aksonal yang tidak reversibel, terutama jika tidak ditangani secara dini dan agresif (Foss et al., 2013; Nogueira-Barbosa et al., 2016; Wellington & Schofield, 2019; Gupta et al., 2016; Lugão et al., 2016; Sharma et al., 2014).



Gambar 4a. Pembesaran nervus ulnaris di siku pada pasien dengan neuropati MH. Nervus berada di dalam lingkaran putih, dengan luas penampang melintang sebesar 26 mm² (Pirola et al., 2023).

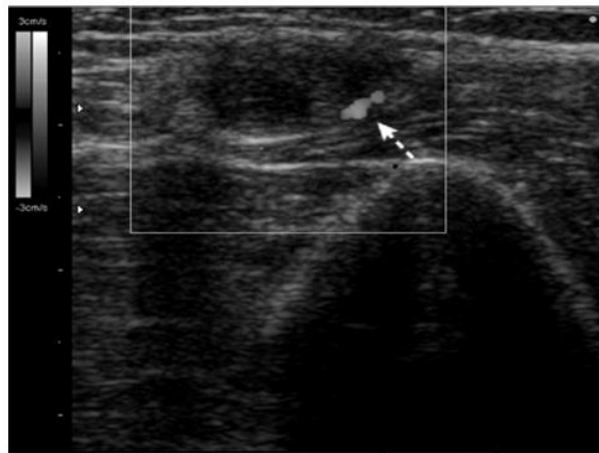


Gambar 4b. Gambaran anatomi dan ultrasonografi resolusi tinggi (HRUS) pada irisan melintang (cross section/CS) dan irisan longitudinal (longitudinal section/LS) dari nervus normal. (A) Tampilan CS dari nervus normal; (B) Tampilan CS dari nervus medianus (MN) yang menunjukkan luas penampang lintang (CSA) sebesar 6 mm² dengan tampilan fasciculus hipoeoik yang tersusun dalam pola menyerupai “sarang lebah” (honeycomb pattern); (C) Tampilan LS dari nervus medianus (MN) yang memperlihatkan pita hiperekoik tersusun linier, menyerupai berkas jerami (bundles of straw)



Gambar 5. Penebalan epineurium pada nervus ulnaris di daerah siku. Epineurium yang menebal (ditunjukkan oleh panah) tampak mengelilingi fasikuli yang membesar dan hipoeoik (Pirola et al., 2023).

Dari sudut pandang radiologi, evaluasi ultrasonografi sangat penting dalam mendeteksi perubahan-perubahan neuropatik tersebut secara real-time. Ultrasonografi resolusi tinggi mampu menunjukkan perubahan morfologi nervus berupa pembesaran CSA, kehilangan struktur internal, dan peningkatan vaskularisasi endoneural yang merupakan tanda dari proses inflamasi aktif. Temuan radiologis ini dapat dikorelasikan dengan gejala klinis, sehingga memperkuat diagnosis neuropati MH dan menentukan sejauh mana derajat kerusakan telah terjadi. Dengan demikian, penggabungan antara pemeriksaan klinis dan imaging berperan penting dalam manajemen neuropati MH yang optimal dan tepat waktu (Foss et al., 2013; Gupta et al., 2016; De Oliveira et al., 2019; Kaur et al., 2016; Rao et al., 2006; Pirola et al., 2023).



Gambar 6. Pemeriksaan Color Doppler pada nervus ulnaris di daerah siku. Area berwarna abu-abu (ditunjukkan oleh panah) di dalam nervus hipoeoik merupakan temuan abnormal yang menunjukkan peningkatan vaskularisasi (Foss et al., 2013; Gupta et al., 2016; De Oliveira et al., 2019; Kaur et al., 2016; Rao et al., 2006; Pirola et al., 2023).

2.4.4. Perbedaan karakteristik neuropati PB vs MB

Manifestasi neuropati perifer pada MH memperlihatkan spektrum klinis dan morfologis yang luas tergantung pada respons imunologis host, klasifikasi klinis, serta beban bakteri. Secara umum, MH tipe paucibacillary (PB) menunjukkan keterlibatan nervus yang lebih terbatas, cenderung asimetris dan bersifat lokal, sedangkan tipe multibacillary (MB) menunjukkan neuropati yang lebih difus dan

bilateral, mencerminkan invasi mikobakteri yang lebih luas terhadap jaringan nervus tepi (Pirola et al., 2023).

Neuropati ulnaris pada pasien PB sering kali hanya melibatkan satu sisi dan menunjukkan pembesaran nervus fokal di dekat lesi kulit, sedangkan pada MB, pembesaran nervus ulnaris sering meluas bilateral, dengan keterlibatan beberapa cabang nervus sensorik dan motorik secara simultan. Selain itu, pada MB terdapat kecenderungan gangguan fungsi serabut besar dan kecil secara bersamaan, yang tercermin pada gejala klinis berupa anestesi luas dan kelemahan otot-otot intrinsik tangan, yang lebih berat dibanding PB (Jardim et al., 2021; Pirola et al., 2023).

Studi neurofisiologi juga menunjukkan perbedaan karakteristik antara PB dan MB. Pada PB, kelainan konduksi nervus ulnaris biasanya terbatas pada lesi aksonal ringan dengan kelainan segmental lokal, sedangkan pada MB ditemukan pola polineuropatik atau mononeuropati multiple dengan konduksi nervus yang sangat terganggu, bahkan dapat mencapai kondisi "no conduction" pada studi elektrofisiologi. Gambaran ini konsisten dengan beban bakteri yang tinggi dan respon imun humoral yang lemah pada MB, yang memungkinkan infiltrasi bakteri ke dalam nervus secara lebih menyeluruh (Jardim et al., 2021).

Perbedaan ini juga terlihat pada pencitraan ultrasonografi. Pada pasien PB, area pembesaran nervus ulnaris sering kali terbatas pada segmen tertentu dan menunjukkan ketebalan epineural yang tidak terlalu signifikan. Sementara itu, pasien MB sering menunjukkan pembesaran CSA (cross-sectional area) nervus ulnaris yang lebih luas, ketidakteraturan batas nervus, dan peningkatan vaskularitas pada pemeriksaan power Doppler. Hal ini menjadikan pencitraan ultrasonografi sebagai alat diagnostik non-invasif yang sangat berguna dalam membedakan derajat dan pola neuropati antar klasifikasi MH ini (Pirola et al., 2023).

2.5. Ultrasonografi Nervus Perifer: Prinsip dan Aplikasi

2.5.1. Prinsip dasar US resolusi tinggi dalam evaluasi nervus

Ultrasonografi resolusi tinggi (HRUS) telah menjadi modalitas pencitraan non-invasif yang sangat efektif dalam evaluasi struktur dan patologi nervus perifer. Prinsip kerja dasar dari ultrasonografi nervus perifer melibatkan penggunaan

transduser linier berfrekuensi tinggi, umumnya ≥ 12 MHz, untuk memperoleh citra nervus yang detail baik dalam potongan aksial (cross-sectional) maupun longitudinal. Evaluasi dalam dua bidang ortogonal ini sangat penting untuk memastikan penilaian menyeluruh terhadap kontur, echogenicity, serta pola fasikular nervus perifer, yang masing-masing memiliki korelasi erat terhadap berbagai kondisi neuropatik, termasuk neuropati inflamasi, trauma, dan neuropati metabolik (Carroll & Visser, 2020).

Dalam praktik klinis, pencitraan nervus menggunakan mode B (B-mode) merupakan pendekatan standar dalam neurosonografi muskuloskeletal. Pemeriksaan dilakukan dari distal ke proksimal atau sebaliknya, dengan penilaian terhadap ukuran area penampang melintang (cross-sectional area/CSA), bentuk, dan pergerakan nervus. Teknik longitudinal memberikan visualisasi pola fasikular linier yang normal, sedangkan potongan aksial memperlihatkan pola “honeycomb” dari fasikula nervus yang dikelilingi epineurium hiperechoic. Penggunaan transduser ultra-high-frequency (UHF), seperti 18–24 MHz atau lebih tinggi, mampu meningkatkan resolusi spasial hingga mencapai 30 μm , sehingga memungkinkan identifikasi struktur mikroskopik nervus seperti perineurium dan epineurium, yang sangat relevan dalam deteksi neuropati dini, termasuk yang disebabkan oleh MH (Carroll & Visser, 2020; Cocco et al., 2022).

Penting untuk diperhatikan bahwa akurasi pengukuran CSA dan interpretasi echogenicity sangat bergantung pada posisi probe yang tegak lurus terhadap nervus untuk menghindari overestimasi akibat sudut miring. Standarisasi teknik dan kondisi pemeriksaan—termasuk suhu kulit, indeks massa tubuh, dan sisi lateral tubuh—juga direkomendasikan untuk mengurangi variasi pengukuran. Selain itu, nilai rujukan CSA telah dipublikasikan untuk berbagai nervus ekstremitas, yang memudahkan perbandingan dan interpretasi klinis secara kuantitatif maupun kualitatif. Di samping penilaian morfologi, pemanfaatan Doppler color atau power Doppler juga memungkinkan evaluasi vaskularisasi intraneural yang meningkat pada neuropati inflamasi aktif seperti MH reaksi (Pirola et al., 2023).

Dengan demikian, USG resolusi tinggi tidak hanya menawarkan keuntungan diagnostik pada neuropati perifer, tetapi juga berfungsi sebagai alat pemantau terapi dan progresivitas penyakit. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan teknik cross-sectional dan longitudinal, dikombinasikan dengan

probe ≥ 12 MHz, menjadi dasar penting untuk menganalisis korelasi antara derajat neuropati sonografi dan grading ketebalan klinis nervus ulnaris pada pasien MH, baik tipe paucibacillary maupun multibacillary (Carroll & Visser, 2020; Cocco et al., 2022).

2.5.2. Parameter ultrasonografi penting

Dalam evaluasi neuropati perifer melalui ultrasonografi resolusi tinggi, parameter utama yang diandalkan adalah pengukuran Cross-Sectional Area (CSA). CSA mencerminkan dimensi penampang nervus dan secara luas diakui sebagai indikator kuantitatif paling sensitif untuk menilai penebalan atau pembesaran nervus yang terjadi pada proses neuropati, termasuk pada leprosy neuropathy. Pengukuran dilakukan dengan menjiplak garis luar epineurium hiperekoik dalam orientasi tegak lurus terhadap sumbu nervus, menggunakan probe dengan frekuensi ≥ 12 MHz. Penggunaan CSA sangat berguna untuk membedakan antara nervus normal dan yang mengalami kompresi, infiltrasi, atau peradangan difus, dengan nilai referensi normatif telah tersedia untuk berbagai lokasi nervus utama ekstremitas (Carroll & Visser, 2020; Cocco et al., 2022).

Selain CSA, parameter echogenicity juga memegang peranan penting dalam penilaian integritas fasikulus nervus. Secara fisiologis, nervus tampak sebagai struktur "honeycomb" dalam potongan transversal dan "train-track" dalam potongan longitudinal, dengan pola hiperekoik dan hipokoik yang beraturan. Pada kondisi patologis seperti MH, terjadi perubahan echogenicity yang mencerminkan edema endoneurial pada fase akut atau fibrosis pada fase kronis, menyebabkan hipoekoik difus atau bahkan hilangnya pola fasikular secara total. Penurunan echogenicity seringkali berkorelasi dengan derajat kerusakan mikroskopis pada nervus perifer, termasuk infiltrasi oleh *Mycobacterium leprae* atau perubahan degeneratif akibat imunitas seluler kronik (Carroll & Visser, 2020; Cocco et al., 2022).

Penilaian kontur dan batas nervus sangat penting dalam mendeteksi tekanan eksternal maupun proses infiltratif. Nervus yang normal memiliki kontur yang jelas dan batas hiperekoik yang tegas; sebaliknya, pada neuropati akibat MH, batas ini dapat tampak kabur atau mengalami deformasi, mengindikasikan adanya tekanan mekanik, abses intraneural, atau granuloma. Hilangnya delineasi ini kerap

disertai dengan perubahan pada mobilitas nervus saat dilakukan penilaian dinamis, terutama di area anatomis yang rawan seperti sulkus ulnaris di siku (Carroll & Visser, 2020; Cocco et al., 2022).

Vaskularisasi intraneural, yang dievaluasi menggunakan Doppler color flow imaging, merupakan indikator penting untuk mendeteksi peradangan aktif. Peningkatan sinyal Doppler pada nervus menunjukkan adanya vaskularisasi abnormal, yang sering dikaitkan dengan reaksi imun aktif seperti yang terjadi pada MH reaksi reversal. Identifikasi ini tidak hanya membantu dalam diagnosis aktifitas penyakit tetapi juga berguna dalam monitoring respon terhadap terapi anti-MH atau kortikosteroid. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan vaskularisasi nervus ulnaris secara signifikan berhubungan dengan kerusakan aksonal progresif pada neuropati akibat MH maupun entrapment neuropathy lainnya (Pirola et al., 2023)

2.5.3. Teknik scanning nervus ulnaris

Pemeriksaan ultrasonografi pada nervus ulnaris di regio siku membutuhkan teknik khusus yang memadukan pemahaman anatomi topografi nervus serta pemilihan posisi pasien yang optimal untuk akuisisi gambar resolusi tinggi. Pemeriksaan umumnya dilakukan dengan pasien dalam posisi supinasi, lengan diletakkan di atas meja pemeriksaan, dan siku dibiarkan dalam posisi ekstensi ataupun fleksi 90° tergantung dari tujuan penilaian. Dalam posisi ekstensi, transduser linear frekuensi tinggi (12–18 MHz) diletakkan secara melintang antara olekranon dan epikondilus medialis untuk mengidentifikasi nervus ulnaris sebagai struktur hipoekoik yang dibatasi rim hiperekoik—representasi dari selubung epineurium nervus (Mezian et al., 2021; Omejec & Podnar, 2017).

Posisi fleksi siku 90° direkomendasikan saat evaluasi dinamis untuk mendeteksi translokasi atau subluksasi nervus ulnaris dari palung retroepikondilar, yang sering ditemukan pada neuropati ulnaris dengan instabilitas nervus. Dalam fleksibilitas penuh, nervus dapat berpindah ke arah anterior terhadap epikondilus medialis atau bahkan keluar dari palungnya, terutama pada pasien dengan jaringan retinakulum yang lemah. Visualisasi dalam mode dinamis ini memberikan keunggulan dibandingkan modalitas statis karena memungkinkan penilaian

pergerakan nervus secara real time, suatu fitur yang sangat penting pada evaluasi cubital tunnel syndrome (Omejec & Podnar, 2017; Cartwright & Walker, 2013).



Gambar 7. Lokasi pemeriksaan ultrasonografi nervus ulnaris mulai dari (A) pertengahan lengan bawah hingga (F) aksila. Jalur nervus meliputi: (B) di bawah otot flexor carpi ulnaris, (C) posterior terhadap epikondilus medialis, (D) di daerah proksimal siku, dan (E) di pertengahan lengan atas. Kotak hitam menunjukkan lokasi penempatan probe (Pirola et al., 2023).

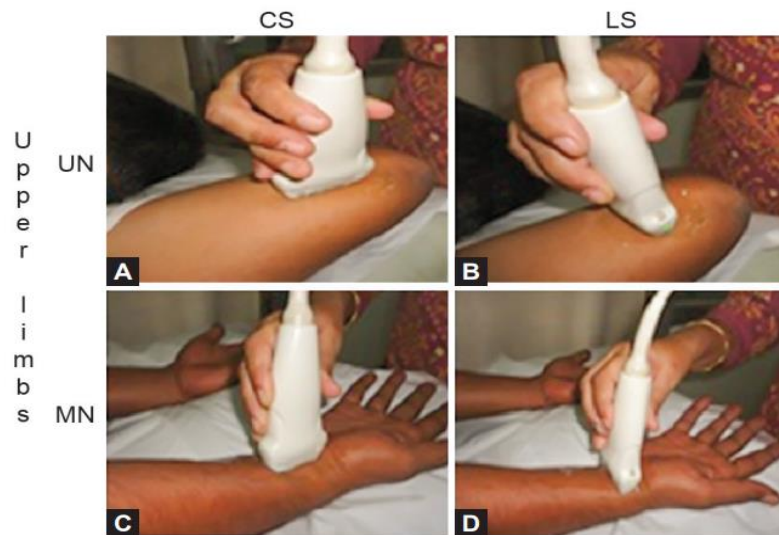
Selain penilaian translokasi nervus, pemeriksaan longitudinal dilakukan dengan rotasi transduser 90° untuk mendapatkan tampilan aksial panjang nervus. Teknik ini berguna untuk memvisualisasikan arah lintasan nervus dari proksimal ke distal atau sebaliknya, serta untuk mendeteksi perubahan morfologi seperti tampilan hourglass sign akibat penekanan segmental. Pemeriksaan dapat dilanjutkan hingga ke area distal nervus dalam foramen cubiti dan sepanjang jalur antara kepala fleksor karpi ulnaris, dengan tetap mempertahankan kestabilan probe dan tekanan minimal agar tidak mendistorsi struktur nervus selama manuver dinamis dilakukan (Mezian et al., 2021; Omejec & Podnar, 2017).

2.6. Peran Ultrasonografi dalam Neuropati MH

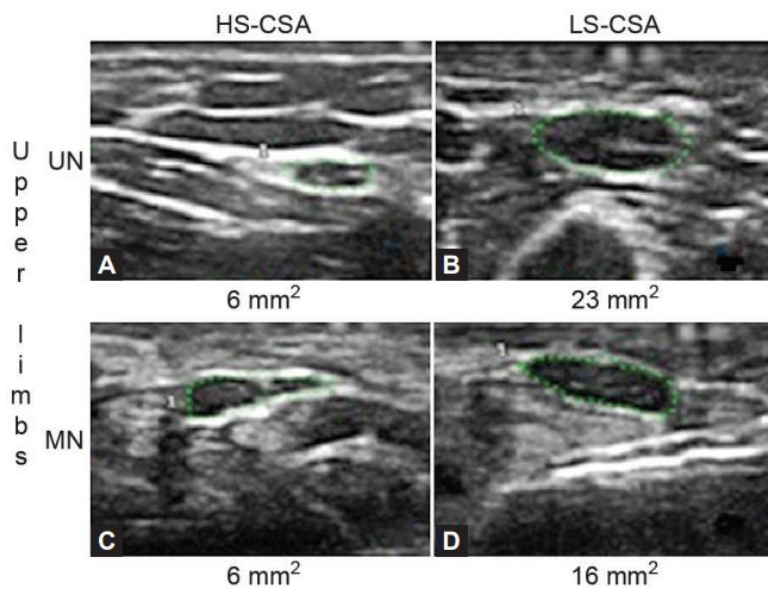
2.6.1. Kelebihan US dibandingkan modalitas lain (EMG, MRI)

Ultrasonografi resolusi tinggi (high-resolution ultrasonography/HRUS) telah menjadi modalitas pilihan dalam evaluasi neuropati perifer pada pasien MH karena kemampuannya mendeteksi perubahan struktural nervus sejak dini. Tidak seperti elektromiografi (EMG) yang hanya mengevaluasi fungsi elektrik nervus, atau MRI yang bersifat lebih mahal dan kurang mudah diakses, USG memberikan visualisasi langsung dari perubahan morfologis seperti penebalan, distorsi pola

fasikular, hingga keberadaan abses endoneural. USG juga memungkinkan pemeriksaan dinamis secara real-time yang sangat relevan dalam menilai perjalanan neuropati inflamatorik seperti pada MH Gupta et al., 2016; Jain et al., 2021; Kumaran et al., 2019).



Gambar 8a. Posisi transduser linear array untuk pencitraan ultrasonografi resolusi tinggi (HRUS) pada ekstremitas atas — meliputi nervus ulnaris (UN) dan nervus medianus (MN). (A dan B) menunjukkan posisi untuk pemeriksaan nervus ulnaris (UN) pada 2 cm di atas siku: A: Irisan melintang (cross section/CS) B: Irisan longitudinal (longitudinal section/LS)



Gambar 8b. Perbandingan ultrasonografi resolusi tinggi (HRUS) terhadap luas penampang lintang (cross-sectional area/CSA) antara

sampelsehat (HS) dan pasien lepra (LS) pada ekstremitas atas — meliputi nervus ulnaris (UN) dan nervus medianus (MN). (A dan B) menunjukkan CSA nervus ulnaris (UN): A: Sampelsehat (HS) = 6 mm²; B: Pasien lepra (LS) = 23 mm². (C dan D) menunjukkan CSA nervus medianus (MN): C: HS = 6 mm²; D: LS = 16 mm²

Keunggulan lain dari USG dalam neuropati MH terletak pada sifatnya yang non-invasif, cost-effective, dan dapat dilakukan secara bedside. Dalam praktik radiologi klinis, hal ini memberikan keunggulan logistik terutama di daerah dengan keterbatasan fasilitas MRI. USG mampu mengidentifikasi abnormalitas morfologi nervus bahkan sebelum gejala klinis muncul atau perubahan pada EMG terjadi. Penggunaan doppler warna turut memberikan nilai tambah dengan mendeteksi hiperemia endoneural yang menjadi salah satu indikator inflamasi aktif pada neuropati MH. Beberapa studi menunjukkan bahwa USG bahkan lebih sensitif dibanding pemeriksaan klinis dalam mendeteksi penebalan nervus asimetris— suatu karakteristik khas pada MH multibasiler (Foss et al., 2013; Gupta et al., 2016; Kumaran et al., 2019).

Sementara MRI tetap menjadi standar emas untuk pencitraan nervus sentral dan dalam menilai struktur jaringan dalam yang sulit dijangkau USG, keterbatasannya seperti waktu pemeriksaan yang lama, biaya tinggi, kontraindikasi seperti pacemaker, dan terbatasnya ketersediaan menjadikan USG sebagai alternatif unggul di banyak pusat layanan kesehatan. Studi komparatif juga menunjukkan bahwa sensitivitas USG dalam mendeteksi lesi nervus perifer mencapai lebih dari 90%, melampaui MRI dalam beberapa kondisi, dan memiliki resolusi aksial yang superior sehingga pola fasikular dapat terlihat jelas pada nervus dengan diameter sekecil 1 mm (Foss et al., 2013; Jain et al., 2021; Alsaadi et al., 2019).

2.6.2. Studi-studi terkait

Ultrasonografi (USG) beresolusi tinggi telah menjadi salah satu modalitas pencitraan yang kian penting dalam mendeteksi keterlibatan nervus perifer pada pasien MH. Teknik ini memungkinkan visualisasi morfologi nervus secara real time, termasuk penilaian terhadap perubahan ukuran (cross-sectional area/CSA), echotexture, vaskularisasi intraneural, dan integritas pola fasikular nervus. Dalam konteks MH, USG terbukti sangat berguna untuk mendeteksi neuropati lebih awal

bahkan sebelum gejala klinis muncul atau perubahan fungsional terdeteksi melalui studi elektrodagnostik (Kumaran et al., 2019).

Studi oleh Pirola M et al. (2023) secara khusus merancang protokol scanning USG nervus untuk pasien MH, dengan menilai beberapa lokasi strategis dan membandingkan CSA nervus ulnaris antara pasien MH tipe paucibacillary (PB) dan multibacillary (MB). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasien MB memiliki CSA yang lebih besar secara signifikan dibandingkan pasien PB, mencerminkan derajat kerusakan dan inflamasi nervus yang lebih berat pada tipe MB. Hal ini sejalan dengan fakta bahwa bentuk MB umumnya melibatkan distribusi lesi yang lebih difus dan bilateral, dibandingkan PB yang lebih asimetris dan lokal (Pirola et al., 2023; Gupta et al., 2016; Kumaran et al., 2019; Lugão et al., 2016).

Selain peningkatan CSA, USG juga mengidentifikasi perubahan lain seperti hilangnya pola fasikular, peningkatan echogenicity epineurium, serta keberadaan aliran Doppler sebagai indikator neuritis aktif. Temuan ini menunjukkan bahwa USG tidak hanya bersifat diagnostik, tetapi juga memiliki nilai prognostik dan monitoring terhadap perjalanan penyakit dan respon terhadap terapi (Jain et al., 2021; Kumaran et al., 2019).

Studi longitudinal oleh Lugão et al. juga mengungkap bahwa meskipun terdapat penurunan CSA post terapi multidrug, abnormalitas seperti echogenisitas yang buruk dan Doppler intraneural tetap ditemukan secara persisten terutama pada pasien MB, mengindikasikan bahwa perbaikan morfologi nervus tidak selalu paralel dengan perbaikan fungsional. Oleh karena itu, pemanfaatan USG sebagai alat bantu objektif dalam klasifikasi, evaluasi progresivitas, dan pemantauan terapi neuropati MH menjadi sangat relevan secara klinis dan radiologis (Lugão et al., 2016).

2.6.3. Implikasi diagnostik dan terapeutik

Neuropati perifer merupakan manifestasi utama dari penyakit MH, terutama pada tipe multibacillary yang bersifat progresif dan invasif terhadap serabut nervus tepi. Salah satu tantangan besar dalam diagnosis neuropati MH adalah deteksi dini terhadap perubahan struktural nervus yang mendahului keluhan klinis atau hasil pemeriksaan elektrofisiologis seperti EMG. Dalam konteks ini, ultrasonografi resolusi tinggi (high-resolution ultrasonography/HRUS)

menjadi modalitas pencitraan yang sangat bernilai, mengingat sensitivitasnya dalam mendeteksi penebalan nervus, perubahan pola fascikular, dan vaskularisasi endoneural yang tidak tampak pada pemeriksaan fisik biasa. HRUS terbukti mampu mengidentifikasi perubahan morfologi nervus seperti hilangnya pola fascikular, hipoekogenisitas segmental, serta pembesaran asimetris bahkan sebelum timbul gejala klinis signifikan (Kumaran et al., 2019; Bathala et al., 2012).

Beberapa studi memperlihatkan bahwa USG dapat mengidentifikasi penebalan nervus ulnaris, medianus, dan tibialis posterior bahkan pada pasien tanpa penebalan nervus secara klinis, yang menunjukkan bahwa USG lebih superior dibandingkan palpasi manual oleh klinisi, terutama dalam mengidentifikasi neuropati diam (*silent neuropathy*). Penelitian oleh Kumaran et al. mencatat bahwa sebanyak 41 nervus yang tampak normal secara klinis menunjukkan pembesaran bermakna pada evaluasi sonografi, yang menekankan nilai diagnostik USG dalam mendeteksi keterlibatan nervus pada fase subklinis (Kumaran et al., 2019).

Implikasi terapeutik dari penggunaan HRUS tidak hanya sebatas diagnosis dini, namun juga pada pemantauan respons terapi. Beberapa publikasi telah melaporkan bahwa perubahan vaskularitas nervus dan reduksi ukuran nervus yang tampak pada USG dapat berkorelasi dengan perbaikan klinis post terapi anti MH atau steroid. Penurunan strain elastografi atau reduksi hipoekogenisitas juga dilaporkan sebagai indikator fibrosis atau perbaikan jaringan pasca inflamasi, sehingga membantu klinisi dalam mengevaluasi keberlanjutan atau penghentian terapi (Bathala et al., 2012; Jain et al., 2009).

HRUS dengan bantuan mode Doppler bahkan mampu mendeteksi vaskularisasi intra-neural sebagai tanda reaksi MH aktif, yang merupakan indikator penting dalam menentukan perlunya terapi imunosupresif meskipun belum terdapat gejala klinis jelas. Oleh karena itu, dalam manajemen pasien MH – khususnya yang berada pada spektrum *borderline* atau *multibacillary* – USG memberikan kontribusi yang esensial dalam pengambilan keputusan terapeutik yang presisi dan berbasis bukti struktural (Bathala et al., 2012; Venugopal et al., 2021)

2.7. Grading Klinis Ketebalan Nervus Ulnaris

2.7.1. Pemeriksaan palpasi ketebalan nervus secara klinis

Pemeriksaan palpasi nervus ulnaris secara klinis merupakan metode awal yang sederhana namun penting dalam penilaian neuropati perifer pada pasien MH. Teknik ini dilakukan dengan cara meraba nervus ulnaris pada lokasi anatomis yang mudah dijangkau, khususnya di sulkus retroepikondilar pada siku, untuk menilai derajat penebalan, konsistensi nervus, serta adanya nyeri tekan. Nervus yang mengalami infiltrasi oleh *Mycobacterium* atau peradangan granulomatosa cenderung menunjukkan peningkatan volume, konsistensi menyerupai tali atau nodular, dan terkadang disertai nyeri saat palpasi. Penilaian ini memberikan gambaran awal mengenai kemungkinan keterlibatan nervus yang signifikan secara klinis, terutama pada populasi di daerah endemik di mana pencitraan lanjutan belum tersedia secara merata (Gupta et al., 2016; Sreejith et al., 2021).

Grade	Derajat	Deskripsi
0	Tidak menebal	Nervus tidak menebal dan terasa normal
1	Penebalan ringan	Teraba lebih tebal dibandingkan sisi kontralateral
2	Penebalan sedang	Nervus terasa seperti tali (<i>rope-like</i>)
3	Penebalan berat	Nervus menebal dengan nodularitas atau <i>beaded</i>

Tabel 1 . Penebalan nervus dinilai berdasarkan klasifikasi WHO (Poulkar et al)

Dalam praktik klinis, penilaian ketebalan nervus telah distandarisasi oleh World Health Organization (WHO) ke dalam sistem grading yang memudahkan evaluasi longitudinal selama terapi kusta. Skala tersebut biasanya diklasifikasikan sebagai: Grade 0 – nervus tidak teraba menebal, Grade 1 – nervus menebal dibanding sisi kontralateral, Grade 2 – nervus menebal dan menyerupai tali tebal, dan Grade 3 – nervus dengan penebalan nodular atau beruntai. Parameter tambahan seperti adanya nyeri tekan (*tenderness*) dan perubahan konsistensi (seperti kaku atau kenyal) juga dievaluasi sebagai penanda proses aktif inflamasi. Meskipun bersifat subyektif, skala ini telah menjadi acuan penting dalam berbagai studi epidemiologis dan diagnostik MH, serta sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terapi imunosupresif tambahan pada reaksi lepra tipe I dan II (Jain et al., 2021; Kumaran et al., 2019).

Dari data Dinas Kesehatan Provinsi Sulawesi Selatan, masih ditemukan kasus baru MH sejumlah 776 penderita baru pada tahun 2024 di seluruh Provinsi Sulawesi Selatan.

Namun, pendekatan palpasi memiliki keterbatasan yang perlu dicermati secara kritis. Salah satu tantangan utama adalah adanya variasi inter-observer dalam menilai ketebalan atau konsistensi nervus, terutama bila pemeriksa tidak berpengalaman. Selain itu, dalam beberapa kasus, nervus yang secara struktural mengalami kerusakan subklinis atau edema endoneural tidak dapat dikenali melalui palpasi karena belum mencapai perubahan bentuk makroskopik yang signifikan. Oleh karena itu, nilai diagnostik dari pemeriksaan ini sangat tergantung pada kombinasi antara keterampilan klinis dan pengetahuan anatomi pemeriksa, serta perlu dikonfirmasi dengan modalitas pencitraan seperti ultrasonografi resolusi tinggi (HRUS) untuk meningkatkan akurasi diagnostik (Bathala et al., 2012).



Gambar 9. *Erythema nodosum leprosum* (ENL) yang muncul sebagai lesi eritematosa nyeri pada lengan bawah (a) dan lutut kiri (b) pasien, terjadi 24 bulan setelah pengobatan awal dimulai. Lesi membaik dengan terapi thalidomide, namun kambuh kembali setelah terapi dihentikan (Wellington & Schofield, 2019).

2.7.2. Keterbatasan pendekatan klinis manual

Palpasi nervus secara manual telah lama digunakan sebagai metode skrining untuk mendeteksi penebalan nervus pada pasien MH. Meskipun praktis dan tidak memerlukan perangkat khusus, teknik ini sangat dipengaruhi oleh tingkat pengalaman dan keterampilan klinisi. Subjektivitas dalam menentukan apakah nervus terasa “tebal” atau “tidak tebal” kerap menimbulkan variabilitas antar pemeriksa, sehingga mengurangi reliabilitas data yang diperoleh. Bahkan, dalam studi lapangan, terdapat ketidaksesuaian yang cukup signifikan antara hasil palpasi dan kondisi nervus yang sebenarnya saat dikonfirmasi dengan modalitas

pencitraan seperti ultrasonografi resolusi tinggi (USG-RT) (Kumaran et al., 2019; Sreejith et al., 2021).

Lebih jauh, pendekatan klinis manual tidak mampu memberikan dimensi kuantitatif dari ketebalan nervus yang diukur. Palpasi tidak bisa menentukan cross-sectional area (CSA) nervus secara numerik, yang padahal merupakan parameter penting dalam membedakan antara penebalan fisiologis dan patologis. Sebagai contoh, pada pasien multibacillary, CSA nervus ulnaris dapat membesar secara difus dan bilateral, yang seringkali tidak dapat dibedakan secara akurat melalui palpasi saja. Selain itu, peradangan subklinis atau edema endoneural pada tahap dini mungkin tidak menghasilkan perubahan konsistensi yang bisa diraba, sehingga berpotensi menyebabkan underdiagnosis pada fase awal penyakit (Jain et al., 2021; Bathala et al., 2012).

Ketidaktepatan palpasi juga dapat berdampak pada pengambilan keputusan klinis, khususnya dalam penentuan inisiasi atau modifikasi regimen terapi kortikosteroid. Hal ini menimbulkan kekhawatiran ketika palpasi nervus digunakan sebagai satu-satunya dasar evaluasi progresivitas atau regresi neuropati. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang lebih objektif dan reproducible untuk menilai kondisi struktural nervus secara longitudinal. Ultrasonografi menjadi solusi yang unggul dalam konteks ini karena tidak hanya dapat mengukur CSA secara akurat, tetapi juga mendeteksi abnormalitas lain seperti hilangnya pola fasikular, peningkatan vascularity, hingga pembentukan abses endoneural (Gupta et al., 2016; Jain et al., 2021; Bathala et al., 2012).

Dengan mempertimbangkan berbagai keterbatasan ini, jelas bahwa pendekatan klinis manual sebaiknya tidak digunakan sebagai satu-satunya metode dalam mengevaluasi neuropati MH. Integrasi antara pemeriksaan klinis dan pencitraan modern seperti USG-RT merupakan pendekatan diagnostik yang lebih akurat, konsisten, dan dapat dipertanggungjawabkan secara kuantitatif.

2.7.3. Potensi validasi klinis dengan bantuan ultrasonografi

Dalam dekade terakhir, perkembangan ultrasonografi resolusi tinggi (USG-RT) telah merevolusi penilaian nervus perifer dengan memungkinkan visualisasi struktur internal nervus secara real-time, non-invasif, dan kuantitatif. Salah satu parameter paling relevan dalam konteks ini adalah cross-sectional area (CSA) dari

nervus, yang dapat diukur secara presisi pada titik anatomis standar. CSA memiliki korelasi kuat terhadap adanya proses patologis seperti edema endoneural, infiltrasi granulomatosa, atau fibrosis kronik. Dengan demikian, USG-RT tidak hanya menjadi alat diagnostik utama dalam deteksi neuropati, tetapi juga berpotensi menjadi “gold standard” untuk memvalidasi temuan klinis yang diperoleh melalui palpasi nervus (Kumaran et al., 2019; Sreejith et al., 2021).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang signifikan antara nilai CSA nervus yang diukur melalui USG dengan tingkat penebalan nervus yang diraba secara klinis. Dalam sebuah studi oleh Sreejith et al., ditemukan bahwa CSA nervus ulnaris meningkat secara bermakna pada pasien MH dengan hasil palpasi yang menunjukkan penebalan grade 2 dan 3 menurut skala WHO. Korelasi ini mendukung konsep bahwa pemeriksaan klinis, meskipun bersifat subjektif, memiliki nilai diagnostik yang valid ketika dibandingkan dengan pencitraan kuantitatif. Temuan ini mengindikasikan bahwa kedua pendekatan tersebut dapat saling menguatkan, terutama dalam konteks skrining awal dan evaluasi longitudinal selama pengobatan (Gupta et al., 2016; Bathala et al., 2012; Sreejith et al., 2021).

Selain validasi dimensi penebalan, USG juga mampu mendeteksi abnormalitas tambahan yang tidak dapat diraba secara klinis, seperti disorganisasi fasikular, peningkatan vaskularisasi (melalui Doppler), serta perubahan elastisitas jaringan nervus. Dengan demikian, korelasi antara grading palpasi dan nilai CSA tidak hanya memberikan validasi semata, tetapi juga memungkinkan klasifikasi neuropati yang lebih kompleks, baik dari sisi morfologis maupun fungsional. Hal ini sangat relevan dalam membedakan pola neuropati pada pasien MH tipe paucibacillary (PB), yang biasanya asimetris dan segmental, dibandingkan multibacillary (MB) yang cenderung difus dan bilateral (Jain et al., 2021; Bathala et al., 2012).

Dengan adanya korelasi positif yang konsisten antara hasil palpasi klinis dan pengukuran CSA pada USG, maka pendekatan multimodal ini dapat diintegrasikan sebagai standar diagnostik baru dalam deteksi dan pemantauan neuropati MH. Validasi silang antara metode klinis dan radiologis tidak hanya meningkatkan akurasi diagnosis, tetapi juga memperkuat justifikasi penggunaan USG dalam algoritma penatalaksanaan neuropati MH secara luas.

2.8. Studi Terdahulu dan Celah Penelitian

2.8.1. Studi yang mengkaji US pada neuropati MH

Sejumlah penelitian terdahulu telah menyoroti peran penting ultrasonografi resolusi tinggi (USG-RT) dalam mendeteksi neuropati perifer pada pasien MH, dengan fokus utama pada pengukuran cross-sectional area (CSA) nervus sebagai indikator penebalan struktural. Studi-studi ini secara konsisten menunjukkan bahwa nilai CSA nervus ulnaris meningkat signifikan pada pasien MH, baik tipe paucibacillary (PB) maupun multibacillary (MB), dibandingkan populasi sehat. Selain CSA, beberapa penelitian juga mengevaluasi perubahan echotexture, yaitu kehilangan pola fasikular normal, hiperechoisitas heterogen, serta adanya kontur irreguler yang menandakan kerusakan struktural akibat infiltrasi *Mycobacterium leprae* atau proses inflamasi kronik (Gupta et al., 2016; Sreejith et al., 2021).

Meskipun demikian, sebagian besar studi tersebut berdiri dalam ranah pencitraan semata, tanpa mengaitkan hasil kuantitatif USG dengan pemeriksaan klinis manual seperti palpasi ketebalan nervus. Hal ini menyisakan celah dalam integrasi data klinis dan radiologis, terutama karena data klinis seperti penilaian nyeri tekan, kekakuan, dan konsistensi nervus juga memiliki nilai diagnostik penting di setting lapangan. Minimnya penelitian yang secara langsung mengorelasikan antara grading palpasi WHO dengan pengukuran CSA atau disorganisasi struktur pada USG, menjadi hambatan dalam menetapkan standar diagnostik komprehensif yang berbasis bukti. Bahkan, sebagian besar publikasi berhenti pada pelaporan nilai CSA rerata tanpa analisis mendalam terhadap hubungan dengan skor klinis atau tipe spektrum MH yang mendasari (Jain et al., 2021; Kumaran et al., 2019).

Lebih jauh, hanya sedikit studi yang membedakan nilai diagnostik CSA berdasarkan tipe klinis PB dan MB, padahal distribusi neuropati pada dua spektrum tersebut sangat berbeda. PB lebih sering menunjukkan penebalan nervus segmental dan asimetris, sedangkan MB bersifat difus dan bilateral. Korelasi antara pemeriksaan palpasi—yang merefleksikan derajat abnormalitas yang dapat dirasakan tangan pemeriksa—dengan visualisasi USG dapat menjadi kunci untuk mengintegrasikan metode manual dan teknologi pencitraan secara saling melengkapi. Celah ini menandai pentingnya dilakukan penelitian yang tidak hanya menilai aspek radiologis nervus secara terisolasi, tetapi juga menghubungkannya dengan dimensi klinis, guna meningkatkan sensitivitas

diagnostik dan prediktivitas terapi jangka panjang (Jain et al., 2021; Bathala et al., 2012).

Dengan demikian, penelitian ini dirancang untuk menjawab kebutuhan literatur terkini dengan membandingkan derajat neuropati berdasarkan gradasi klinis palpasi dan nilai CSA pada USG, sekaligus memperhitungkan spektrum tipe MH (PB vs MB) sebagai variabel klinis utama. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memperkaya protokol diagnostik dan memperkuat argumen integrasi pemeriksaan klinis dan radiologi dalam penatalaksanaan neuropati MH secara menyeluruh.

2.8.2. Minimnya penelitian komparatif PB vs MB berbasis imaging

Sebagian besar studi ultrasonografi pada neuropati MH masih terfokus pada deskripsi abnormalitas struktural nervus secara umum, tanpa membedakan karakteristik morfologi antara tipe paucibacillary (PB) dan multibacillary (MB). Padahal, secara patofisiologis, kedua spektrum tersebut memiliki dinamika neuropati yang berbeda. PB cenderung bersifat lokal, asimetris, dan menyerang satu atau dua batang nervus besar, sedangkan MB bersifat difus dan menyerang banyak nervus perifer secara bilateral dan progresif. Ketidakterlibatan segmen leher atau nervus kecil pada PB sering kali menyebabkan temuan radiologis yang lebih halus atau bahkan subklinis. Sayangnya, mayoritas literatur pencitraan hanya menyajikan data agregat, tanpa stratifikasi berdasarkan klasifikasi bakteriologis MH.^{41,50}

Minimnya penelitian komparatif PB vs MB dari aspek pencitraan menyebabkan kurangnya pemahaman mengenai bagaimana pola dan distribusi neuropati berbeda antara kedua tipe ini secara kuantitatif dan morfologis. Beberapa studi memang telah melaporkan peningkatan cross-sectional area (CSA) nervus ulnaris sebagai parameter utama pada pasien MH, namun data tersebut jarang dikelompokkan berdasarkan klasifikasi PB atau MB. Padahal, dari aspek radiologis, membandingkan pola CSA, echotexture, vaskularisasi, hingga elastisitas nervus pada kedua tipe tersebut dapat memberikan wawasan lebih luas terhadap fase dan agresivitas kerusakan nervus. Tanpa stratifikasi ini, sulit menilai apakah abnormalitas yang terdeteksi bersifat general atau spesifik terhadap spektrum MH tertentu.^{42,43} Lebih lanjut, pendekatan imaging yang tidak menyertakan stratifikasi PB dan MB juga menghambat pengembangan algoritma

diagnostik berbasis imaging untuk prediksi progresivitas penyakit. Penelitian yang menyandingkan hasil USG—baik dari sisi CSA maupun kualitas tekstur nervus—dengan klasifikasi klinis PB dan MB sangat dibutuhkan untuk mengisi kekosongan ini. Dengan mengidentifikasi perbedaan morfologi nervus secara spesifik antara PB dan MB, praktisi radiologi dapat memberikan kontribusi penting dalam diagnosis dini dan stratifikasi risiko neuropati MH, serta membangun dasar bagi monitoring terapi berbasis imaging.⁴⁷

Dengan demikian, kebutuhan akan studi komparatif antara PB dan MB berbasis radiologi sangat mendesak. Penelitian ini diharapkan menjadi salah satu pelopor dalam menjembatani celah tersebut, dengan menyajikan data objektif perbedaan neuropati berdasarkan tipe MH secara kuantitatif melalui ultrasonografi. Validasi radiologis berbasis CSA dan ekogenisitas, yang dikorelasikan dengan data klinis, akan memperkuat pemahaman multidisipliner dalam tata laksana neuropati MH secara lebih presisi dan stratifikatif.

2.8.3. Signifikansi korelasi US-klinis untuk prognosis dan intervensi dini

Deteksi dini neuropati pada pasien MH merupakan komponen kunci dalam mencegah kecacatan permanen yang bersifat irreversible, terutama pada ekstremitas atas seperti tangan dan lengan. Dalam konteks ini, korelasi antara temuan klinis berupa palpasi ketebalan nervus ulnaris dan hasil USG berbasis pengukuran cross-sectional area (CSA) menjadi sangat penting. Ultrasonografi memberikan gambaran objektif dan real-time mengenai derajat penebalan nervus, perubahan ekogenisitas, hingga abnormalitas fasikular, yang semuanya dapat muncul sebelum tanda klinis yang nyata terdeteksi melalui pemeriksaan manual. Korelasi antara data USG dan klinis dapat meningkatkan kepercayaan diagnostik terhadap neuropati aktif dan mendukung keputusan untuk memulai terapi anti-inflamasi atau imunosupresif lebih awal (Gupta et al., 2016; Jain et al., 2021; Kumaran et al., 2019).

Sayangnya, sebagian besar studi masih memisahkan kedua domain ini—klinis dan imaging—dalam analisis terpisah. Padahal, mengintegrasikan hasil palpasi dengan hasil pencitraan seperti CSA dan ekogenisitas nervus memberikan keuntungan strategis dalam stratifikasi risiko. Pasien dengan ketebalan nervus tinggi secara palpasi tetapi CSA normal mungkin menunjukkan peradangan ringan atau kesalahan pemeriksa, sedangkan kasus dengan CSA tinggi namun nervus

tidak teraba menebal menandakan neuropati subklinis yang berpotensi progresif. Oleh karena itu, korelasi USG-klinis bukan hanya penting untuk konfirmasi diagnosis, tetapi juga memiliki nilai prediktif terhadap progresivitas neuropati dan risiko kecacatan jangka panjang (Jain et al., 2021; Bathala et al., 2012; Sreejith et al., 2021).

Konteks ini menjadi semakin krusial di daerah endemis MH, di mana sumber daya diagnostik sering kali terbatas dan tenaga medis dengan keahlian neurologi atau radiologi tidak selalu tersedia. Dengan membangun dasar korelasi yang kuat antara pemeriksaan klinis sederhana dan hasil USG—yang bersifat portabel, murah, dan non-invasif—akan memungkinkan terciptanya sistem deteksi dini yang dapat diterapkan secara luas di tingkat layanan primer. Intervensi berbasis korelasi tersebut akan mempercepat inisiasi terapi steroid untuk mencegah fibrosis nervus dan progresi menjadi deformitas permanen, menjadikan strategi ini sebagai pendekatan preventif berbasis bukti yang sangat dibutuhkan di layanan MH komunitas (Gupta et al., 2016; Jain et al., 2021; Bathala et al., 2012).

Dengan demikian, studi ini diharapkan dapat menjawab celah penting dalam literatur, yakni tentang bagaimana korelasi antara temuan ultrasonografi dan grading klinis dapat berfungsi sebagai indikator prognosis dini serta dasar dalam algoritma intervensi untuk mencegah kecacatan. Validasi korelasi ini akan memberikan nilai tambah strategis, tidak hanya secara akademik dan klinis, tetapi juga dalam kerangka penguatan sistem kesehatan masyarakat di wilayah dengan beban MH yang tinggi.

Beberapa penelitian terkait penilaian morfologi nervus ulnaris dengan ultrasonografi pada pasien MH dan/atau grading ketebalan nervus ulnaris secara klinis

Tabel 2. Tabel terkait penelitian penilaian morfologi nervus ulnaris berdasarkan ultrasonografi dengan grading ketebalan nervus ulnaris secara klinis pada penderita MH

Referensi	Subjek	Metode Penelitian	Hasil
Bathala L. et al. (2017) <i>Extensive sonographic ulnar nerve enlargement above the medial epicondyle...</i>	18 pasien MH (30 lengan) dan 30 kontrol sehat	Studi cross-sectional komparatif. Pemeriksaan HRUS longitudinal dan transversal terhadap nervus ulnaris dari pergelangan tangan ke aksila, penilaian klinis dan elektrofisiologi	Terdapat pembesaran CSA nervus ulnaris yang signifikan pada MH, terutama 4 cm proksimal dari epikondilus medialis. 63,3% pasien menunjukkan penebalan nervus klinis. Terdapat korelasi negatif antara CSA dan CMAP/MCV (Compound Muscle Action Potential/ Motor Conduction Velocity)
Bhandari et al. (2021) <i>HRUS in the assessment of peripheral nerves in leprosy: a comparative cross-sectional study</i>	70 nervus dari pasien MH dan 70 dari kontrol sehat	Studi cross-sectional komparatif. Penilaian CSA nervus ulnaris dengan HRUS dan palpasi klinis, serta pemeriksaan fungsional	Terdapat pembesaran CSA yang signifikan pada kelompok MH dibandingkan kontrol. HRUS lebih sensitif daripada palpasi dalam mendeteksi pembesaran nervus. Korelasi ditemukan antara ketebalan USG dan hasil klinis.
Yadav et al. (2020) <i>Evaluasi sonografi keterlibatan nervus perifer pada kusta dengan korelasi elektrofisiologis...</i>	50 pasien kusta	Studi cross-sectional. Penilaian CSA nervus dengan USG resolusi tinggi dan hasilnya dikorelasikan dengan studi elektrofisiologi	Penebalan nervus ulnaris terdeteksi baik secara klinis maupun sonografi. HRUS memberikan korelasi kuat terhadap parameter elektrofisiologis dan lebih efektif dalam mendeteksi keterlibatan dini nervus.