

Analisis Biomedik Gejala Hearing Loss: Efek Akumulatif Stres Mekanika-Akustik Berdasarkan Usia dan Masa Kerja Penyelam Tradisional

Nur Chabibah^{1*}, Luluk Dewita Sari², Dhian Satya Rachmawati³, Taufan Agung Prasetya⁴, Taukhid⁵, Sapto Dwi Anggoro⁶

^{1,2,3,4,5,6} Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Hang Tuah Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

Open Access Freely
Available Online

Dikirim: 8 Juli 2026

Direvisi: 27 Juli 2026

Diterima: 27 Juli 2026

*Penulis Korespondensi:

E-mail:

nhbienajah@gmail.com

ABSTRAK

Pendahuluan: Aktivitas penyelaman tradisional dengan menggunakan kompresor ban dihadapkan pada risiko paparan ganda berupa bising kronis dan tekanan hidrostatik ekstrem yang mengancam fungsi auditori. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor risiko biofisika, karakteristik individu, dan manifestasi gejala klinis dominan yang memicu kejadian hearing loss pada penyelam tradisional. **Metode:** Metode penelitian menggunakan studi kuantitatif analitik observasional dengan pendekatan cross-sectional ini melibatkan 98 penyelam tradisional di Wilayah Pantai Utara Gresik, Jawa Timur. Data dikumpulkan melalui kuesioner dan pemeriksaan rinne test (garputala 512 Hz). lalu dianalisis menggunakan uji Chi-Square serta Regresi Logistik Berganda (metode Enter). **Hasil:** Hasil penelitian didapatkan dari analisis bivariat menunjukkan kedalaman menyelam ($p=0,021$), usia ($p=0,001$), masa kerja ($p=0,003$), serta gejala tinnitus ($p=0,003$), otalgia ($p=0,001$), sulit mendengar ($p=0,011$), dan berteriak saat bicara ($p=0,0001$) berhubungan dengan kejadian hearing loss. Hasil uji multivariat mengonfirmasi bahwa Usia >40 tahun merupakan faktor dominan dengan nilai Adjusted Odds Ratio (AOR) sebesar 2,764 (95% CI=1,066–7,164; $p=0,036$). **Kesimpulan:** Penuaan biologis bertindak sebagai akumulator final yang melipatgandakan dampak destruktif dari paparan stres mekanika-akustik harian. Intervensi kesehatan kerja maritim yang berfokus pada pembatasan usia kerja dan proteksi telinga sangat direkomendasikan.

Kata kunci: hearing loss, penyelam tradisional, stress mekanik-akustik, kompresor, usia

ABSTRACT

Background: Traditional diving activities utilizing tire compressors expose divers to dual occupational hazards: chronic noise and extreme hydrostatic pressure, both of which threaten auditory function. **Objective:** This study aimed to analyze the biophysical risk factors, individual characteristics, and dominant clinical manifestations that trigger hearing loss among traditional divers. **Methods:** An observational analytic quantitative study with a cross-sectional approach was conducted, involving 98 traditional divers in the Northern Coast (Pantura) of Gresik, East Java. Data were collected via questionnaires and rinne test (garputala 512 Hz), and subsequently analyzed using the Chi-Square test and Multiple Logistic Regression (Enter method). **Results:** Bivariate analysis indicated that diving depth ($p = 0.021$), age ($p = 0.001$), work tenure ($p = 0.003$), as well as clinical symptoms including tinnitus ($p = 0.003$), otalgia ($p = 0.001$), difficulty hearing ($p = 0.011$), and shouting while speaking ($p = 0.0001$) were significantly associated with hearing loss. Multivariate analysis confirmed that age >40 years old was the dominant predictor for hearing loss, with an Adjusted Odds Ratio (AOR) of 2.764 (95% CI = 1.066–7.164; $p = 0.036$). **Conclusion:** Biological aging acts as a final accumulator that exacerbates the destructive impacts of daily mechano-acoustic stressors. Conclusion: Maritime occupational health interventions focusing on working age limits and auditory protection are highly recommended to prevent irreversible damage.

Keywords: hearing loss, traditional divers, Mechano-Acoustic Stress, Compressor, Age

PENDAHULUAN

Negara Indonesia sebagian besar wilayahnya adalah laut (Putri & Arsana, 2023), sebagian besar penduduk Indonesia yang mendiami wilayah pesisir pantai bermata pencaharian sebagai nelayan tradisional (Siagian, Widiastuti, Sitindaon, Atrie, & Wati, 2023). termasuk di Wilayah Pantai Utara Gresik. Nelayan di Wilayah Pantura Gresik sebagian besar memanfaatkan sumber daya laut tidak hanya bertumpu pada nelayan tangkap ikan dipermukaan akan tetapi juga melakukan penyelaman tradisional. Para penyelam tradisional menghadapi risiko kesehatan yang ekstrem demi keberlangsungan ekonomi keluarga. Bentuk risiko ekstrem yang dimaksud adalah paparan dua stresor fisik utama secara simultan, yaitu tekanan hidrostatik dan gelombang akustik intensitas tinggi. Tekanan hidrostatik yang dimaksud salah satunya adalah aktivitas penyelaman yang dilakukan penyelaman tradisional secara berulang (*repetitive time*) pada kedalaman ekstrem tanpa adanya jeda waktu istirahat dipermukaan (*surface interval*) yang cukup (Siagian et al., 2023). Berdasarkan Hukum Boyle semakin dalam penyelam tradisional menyelam maka tekanan akan meningkat, volume gas di dalam rongga tubuh akan semakin menyusut (Nofz, Porrett, Yii, & Alwis, 2020). Di saat yang sama, penggunaan mesin kompresor ban tanpa peredam suara menyalurkan energi kinetik berupa getaran dan kebisingan frekuensi rendah yang terus-menerus melalui selang plastik panjang langsung ke sistem auditori penyelam. Kombinasi beban fisik inilah yang disebut sebagai stres mekanika-akustik. Paparan kronis dari dua stresor ini sepanjang masa kerja memicu kelelahan jaringan (*tissue fatigue*) pada organ korti. Secara biomedis, kondisi ini berinteraksi sinergis dengan pertambahan usia yang menurunkan regenerasi seluler dan mempercepat apoptosis sel rambut koklea, sehingga memicu terjadinya *hearing loss* permanen.

Permasalahan kesehatan penyelam tradisional umumnya terkait lingkungan hiperbarik, yaitu lingkungan bertekanan tinggi lebih dari 1 ATA. Pada kedalaman lebih dari 5 meter terjadi perubahan tekanan yang setara dengan ketinggian sekitar 5.000 meter di atas bumi, sehingga terjadi perubahan tekanan lingkungan yang lebih cepat sehingga berisiko mengalami cedera salah satunya pecahnya membran timpani (Dewi, Sutanegara, Praramdana, Kasiron, & Zulkarnaen, 2023). Lebih dari 80% komplikasi diantara penyelam berada di daerah kepala dan leher, namun 65% nya terjadi di telinga meliputi

telinga luar, tengah, dan dalam (Utari Yuni Atrie, Linda Widiastuti, Liza Wati, 2023). Di Indonesia, kejadian gangguan telinga pada nelayan dan penyelam tradisional di wilayah pesisir cukup tinggi. Hasil penelitian tahun 2020 di Kabupaten Donggala provinsi Sulawesi Tengah dari 78 penyelam tradisional melaporkan setelah pemeriksaan fisik telinga dengan menggunakan otoskopi, diperoleh hasil sebanyak 41% mengalami gangguan telinga (barotrauma telinga tengah) karena perubahan tekanan udara yang tiba-tiba saat menyelam (Martinus, Hadisaputro, & Munasik, 2020).

Organ pendengaran manusia mengandalkan transduksi mekano-elektrik yang sensitif, di mana gelombang suara dan fluktuasi tekanan diubah menjadi potensial aksi oleh sel rambut (*stereocilia*) koklea (Martinus et al., 2020). Paparan stres mekanika-akustik yang ekstrem memaksa membran timpani dan tulang pendengaran bekerja melampaui batas elastisitas fisiologisnya (Nofz et al., 2020). Tekanan hidrostatik yang tidak seimbang memicu mikrotrauma telinga tengah, sementara energi akustik intens menyebabkan over-stimulasi metabolik pada koklea (Trevino, Zang, & Lobarinas, 2023). Akibatnya, terjadi iskemia jaringan lokal, akumulasi spesies oksigen reaktif (ROS), dan degenerasi struktural pada organ korti. Kerusakan biomedis ini bersifat laten dan terakumulasi seiring dengan durasi kerja nelayan (Natarajan, Batts, & Stankovic, 2023). Pada fase awal, stres mekanika-akustik memicu pergeseran ambang pendengaran sementara (*temporary threshold shift*) (Annisa, Sudaryanto, & Prasetyawati, Naris Dyah, 2026). Namun, paparan kronis berulang tanpa pemulihan yang adekuat membuat tubuh mengalami kejenuhan, sehingga memicu kelelahan jaringan saraf secara ireversibel menjadi gangguan permanen (*permanent threshold shift*) (Mulya, Rahmat, & Yudhanto, 2022). Fenomena ini diperparah oleh faktor demografi berupa pertambahan usia penyelam tradisional. Secara alamiah, proses penuaan (presbikusis) melibatkan penurunan elastisitas membran basilaris, atrofi stria vaskularis, dan penurunan densitas neuron koklea (Andrzejczek et al., 2022). Ketika penyelam senior terus terpapar stres mekanika-akustik akibat masa kerja yang panjang, terjadi efek sinergis destruktif. Penurunan kapasitas regenerasi seluler akibat faktor usia mempercepat kematian sel rambut koklea yang terus-menerus dihantam oleh stresor fisik lingkungan kerja.

Penelitian sebelumnya terkait kesehatan penyelam tradisional berfokus pada analisis

epidemiologi deskriptif kejadian decompression sickness (DCS) (Siagian et al., 2023), (Chabibah, Mayasari, Rachmawati, & Said, 2022), (Rachmawati, Chabibah, & Rustam, 2023), prevalensi *hearing loss* secara umum tanpa menguji aspek kedalaman biofisikanya. Terdapat beberapa studi yang mengaitkan aktivitas penyelaman dengan penurunan ambang pendengaran (Walangitan, Palandeng, & Runtuwene, 2021), namun masih mengabaikan interaksi simultan antara stres mekanik (tekanan hidrostatik) dan akustik (bising kompresor) sebagai satu kesatuan stresor mekanika-akustik. Selain itu belum banyak riset yang secara spesifik memetakan bagaimana manifestasi klinis tinitus dan otalgia terakselarasi secara sinergi oleh akumulasi masa kerja dan deklinasi akibat faktor usia. Keterbatasan evaluasi integratif inilah yang menyebabkan program mitigasi risiko kesehatan kerja pada nelayan penyelam tradisional di wilayah pesisir sering kali tidak tepat sasaran. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi berupa pendekatan integrasi biofisika dan biomedis guna memetakan risiko kerusakan sistem auditori penyelam tradisional yang ada di Wilayah Pantura Gresik Jawa Timur. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis interaksi multivariat yang memosisikan kedalaman menyelam sebagai stresor fisik utama, serta masa kerja dan usia sebagai parameter akumulasi waktu yang mengakselerasi penuaan dini seluler pada organ korti. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor risiko biofisika, karakteristik individu, dan manifestasi gejala klinis dominan yang memicu kejadian *hearing loss* pada penyelam tradisional di Wilayah Pantai Utara Gresik.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Wilayah Pantai Utara (Pantura) Gresik Jawa Timur pada Tanggal 3 – 14 Februari 2025. Cakupan wilayah pantai utara Kabupaten Gresik meliputi: kecamatan Panceng (Desa Campurrejo), Kecamatan Ujungpangkah (Desa Pangkah dan Desa Cangaan), Kecamatan Sidayu (Desa Randuboto), Kecamatan Bungah (Desa Kramat dan Desa Tanjungwidoro/Mengare).

Desain Penelitian

Desain penelitian ini menggunakan studi kuantitatif dengan pendekatan cross-sectional. Peneliti memilih pendekatan ini untuk menganalisis faktor dominan stressor mekanika-akustik berdasarkan usia dan masa kerja penyelam

tradisional yang berhubungan dengan kejadian *hearing loss*.

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi penelitian adalah seluruh nelayan penyelam tradisional aktif di Wilayah Pantai Utara Kabupaten Gresik yang memenuhi definisi operasional penelitian. Populasi tidak mencakup seluruh nelayan karena sebagian besar nelayan di wilayah tersebut bekerja sebagai nelayan budidaya (tambak) atau nelayan tangkap yang tidak melakukan penyelaman. Aktivitas penyelaman tradisional hanya ditemukan di Kecamatan Panceng dan Kecamatan Ujungpangkah. Berdasarkan data paguyuban penyelam yang telah diverifikasi melalui pendataan lapangan, jumlah nelayan penyelam tradisional aktif sebanyak 130 orang. Berdasarkan populasi tersebut, besar sampel dihitung menggunakan rumus Slovin dan diperoleh sebanyak 98 responden. Teknik sampling dalam penelitian ini menggunakan purposive sampling dengan kriteria inklusi: nelayan yang terdaftar secara resmi sebagai penyelam di paguyuban penyelam dan aktif melakukan penyelaman di Wilayah Pantura, menyelam dengan teknik tahan nafas atau menggunakan kompresor ban, menggunakan perahu mesin disel saat beroperasi, aktif bekerja sebagai penyelam sekurang-kurangnya minimal dua tahun terakhir, tidak memiliki riwayat penyakit telinga/ gangguan telinga sebelum bekerja sebagai penyelam, tidak sedang menderita otitis eksterna saat penelitian dilakukan, bersedia menjadi responden dan menjalani pemeriksaan rinne test serta berpartisipasi penuh dalam penelitian. Kriteria eksklusi pada penelitian ini adalah: memiliki riwayat cacat pendengaran bawaan, memiliki riwayat otitis media sebelum menjadi penyelam, memiliki riwayat trauma telinga akibat kecelakaan darat, atau pernah terpapar mesin/ bising tinggi di luar aktivitas penyelaman.

Instrumen Penelitian

Data karakteristik individu (usia dan masa kerja), kedalaman penyelaman, dan manifestasi biomedis berupa gejala klinis (telinga berdenging, nyeri telinga, sulit mendengar, dan kebiasaan berteriak saat berbicara/lombard effect) diidentifikasi melalui kuesioner. Variabel kedalaman menyelam dikategorikan ≤ 10 meter dan > 10 meter untuk mengukur besarnya paparan tekanan hidrostatik berdasarkan Hukum Boyle. Variabel usia dikategorikan ≤ 40 tahun dan > 40 tahun untuk mengukur efek deklinasi biologis alami. Sedangkan variabel masa kerja dikelompokkan menjadi ≤ 10 tahun dan > 10 tahun

untuk menilai paparan kronis stres mekanika akustik. Variabel hearing loss dinilai secara obyektif melalui pemeriksaan rinne test (garpu tala 512 Hz). Pengukuran fungsi pendengaran dilakukan melalui uji rinne test dengan pertimbangan kelayakan lapangan di wilayah pesisir yang tidak memungkinkan tersedianya ruangan kedap suara yang terkalibrasi. Penggunaan Pure-Tone Audiometri (PTA) di lingkungan pesisir tanpa ruang kedap suara berisiko tinggi menimbulkan masking bias akibat bising latar (ambient noise). Rinne test diilih karena validitasnya yang adekuat dalam membedakan tuli konduktif dan sensorineural secara langsung di komunitas tanpa mengganggu mobilitas kerja nelayan

Data hasil penelitian di analisa menggunakan perangkat SPSS 25 dengan tahapan sebagai berikut: pertama analisis univariat dilakukan secara deskriptif untuk melihat distribusi frekuensi dan persentase dari seluruh variabel. Kedua, analisis bivariat menggunakan chi-square

dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0.05$) diterapkan untuk menguji hubungan antara masing-masing variabel independen (kedalaman menyelam, usia, masa kerja, telinga berdenging, nyeri telinga, sulit mendengar, dan kebiasaan berteriak saat berbicara/lombard effect). Nilai Odds Ratio (OR) dihitung untuk melihat besarnya risiko paparan. Ketiga, dari hasil analisis bivariat diambil variabel yang nilai $p \leq 0,25$ kemudian di analisis menggunakan uji regresi logistik multivariat metode enter/backward untuk menganalisis efek akumulatif interaksi faktor risiko serta menentukan prediktor biomedis yang dominan yang memicu kejadian gangguan telinga.

Penelitian ini telah memenuhi kode etik penelitian dan telah disetujui oleh KEPK (Komite Etik Penelitian Kesehatan) Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Hang Tuah Surabaya melalui nomer etik PE/55/II/2025/KEP/2025.

HASIL

Tabel 1

Distribusi Frekuensi Karakteristik Subjek, Faktor Risiko Biofisika, dan Manifestasi Gejala Klinis Auditori Penyelam Tradisional

No	Variabel	Kategori	Frekuensi (n)	Persentase (%)
1	Faktor Risiko Biofisika			
	Kedalaman	≤ 10 meter	57	58,16
	Menyelam	> 10 meter	41	41,83
2	Karakteristik Individu			
	Usia	≤ 40 tahun	46	46,9
		> 40 tahun	52	53,1
	Masa Kerja	≤ 10 tahun	50	51,03
		> 10 tahun	48	48,97
3	Manifestasi Gejala			
	Telinga Berdenging (Tinitus)	Tidak	47	47.95
		Ya	51	52.04
	Nyeri Telinga (Otalgia)	Tidak	30	30.61
		Ya	68	69.53
	Sulit Mendengar	Tidak	14	14.28
		Ya	84	85.57
	Berteriak Saat Berbicara	Tidak	47	47.95
		Ya	51	52.04
	Total Keseluruhan		98	100

Tabel 2

Analisis Hubungan Faktor Risiko Biofisika, Karakteristik Individu, dan Manifestasi Gejala Klinis Auditori dengan Kejadian Hearing Loss pada Penyelam Tradisional

Kategori	Hearing Loss				Total		p-value
	Tidak	%	Ya	%	N	%	
Kedalaman Menyelam							
≤ 10 meter	27	47,5	30	52,6	57	100	0.021
> 10 meter	10	24,4	31	75,6	41		
Usia							
≤ 40 tahun	25	54,3	21	45,7	46	100	0.001
> 40 tahun	12	23,1	40	76,9	52		
Masa Kerja							

≤ 10 tahun	26	52,0	24	48,0	50	100	0.003
> 10 tahun	11	22,9	37	77,1	48		
Telinga Berdenging/Tinnitus							
Tidak	26	52,0	24	48,0	50	100	0.003
Ya	11	22,9	37	77,1	48		
Nyeri Telinga/Otalgia							
Tidak	19	63,3	11	36,7	30	100	0.001
Ya	18	26,5	50	73,5	68		
Sulit Mendengar							
Tidak	1	7,1	13	92,9	14	100	0.011
Ya	36	42,9	48	57,1	84		
Berteriak Saat Berbicara							
Tidak	8	17,0	39	83,0	47	100	0.0001
Ya	29	56,9	22	43,1	51		

Tabel 3

Hasil Analisis Regresi Logistik Berganda (Metode Enter) Faktor Risiko terhadap Kejadian Hearing Loss pada Penyelam Tradisional

Variabel Independen	B	SE	Wald	p-value (Sig.)	Adjusted OR (Exp(B))	95% CI for Exp(B)
Kedalaman menyelam	0,888	0,479	3,432	0,064	2,430	0,950 – 6,217
Masa Kerja	0,833	0,492	2,861	0,091	2,300	0,876 – 6,035
Usia	1,017	0,486	4,378	0,036	2,764	1,066 – 7,164
Constant	-3,444	1,056	10,630	0,001	0,032	

PEMBAHASAN

Karakteristik Subjek, Faktor Risiko Biofisika, dan Manifestasi Gejala Klinis Auditori Penyelam Tradisional

Analisis univariat dilakukan untuk memberikan gambaran deskriptif mengenai distribusi frekuensi dan nilai persentase dari karakteristik demografi terkait karakteristik individu (usia dan masa kerja), variabel faktor risiko biofisika (tekanan hidrostatik melalui kedalaman menyelam), serta manifestasi gejala yang dialami responden (telinga berdenging/*tinnitus*, nyeri telinga/*otalgia*, sulit mendengar, dan berteriak saat berbicara/*lombard effect*). Melalui pemetaan ini dapat diidentifikasi proporsi kejadian *hearing loss* pada penyelam tradisional di Wilayah Pantura Gresik Jawa Timur. Data ini sangat krusial sebagai landasan klinis awal untuk memahami tingkat kerentanan biologis dan paparan risiko mekanika-akustik ekstrem yang dihadapi oleh penyelam tradisional.

Berdasarkan Tabel 1 didapatkan sebagian besar responden berusia >40 tahun sebanyak 52 orang (53,1%) dan memiliki masa kerja >10 tahun sebanyak 48 orang (49,0%). Dari aspek biofisika, terdapat 41 responden (41,8%) melakukan penyelaman >10 meter. Gejala klinis yang dialami yang menjadi keluhan responden adalah gejala gangguan fungsi auditori, di mana keluhan tertinggi adalah sulit mendengar sebanyak 84 orang (85,7%), diikuti oleh keluhan nyeri telinga (*otalgia*) sebanyak 68 orang (69,4%). Selain itu,

responden juga mengonfirmasi mengalami telinga berdenging (*tinnitus*) serta memiliki kebiasaan berteriak saat berbicara (*lombard effect*) dengan persentase masing-masing sebesar 52,0% (51 orang). Tingginya proporsi keluhan klinis ini memberikan sinyal awal dan indikator kuat terjadinya paparan stres mekanika-akustik jangka panjang. Kondisi ini diperparah dengan adanya penggunaan mesin kompresor ban sebagai sumber udara utama ketika menyelam yang menghasilkan paparan bising frekuensi tinggi secara terus menerus diikuti paparan dari tekanan hidrostatik ketika menyelam. Paparan bising kronis bertahun-tahun berinteraksi dengan proses penuaan biologis seiring dengan bertambahnya usia dapat menyebabkan akselerasi degenerasi struktural telinga sebagai efek presbikus dan *Noise-Induced Hearing Loss* (NIHL). Stres mekanika-akustik ini memicu iskemia lokal, produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang berlebih di jaringan koklea, sehingga menyebabkan atrofi stria vaskularis dan kematian (*apoptosis*) sel rambut luar koklea secara ireversibel (Nofz et al., 2020).

Temuan ini memperkuat studi yang sebelumnya telah dilakukan oleh (Siagian et al., 2023) yang mengemukakan bahwa durasi menyelam yang menahun berbanding lurus dengan penurunan fungsi pendengaran akibat akumulasi paparan bising kompresor. Kerentanan ini diperberat oleh fenomena biologi telinga dalam, sebagaimana dipaparkan oleh (Mulya et al., 2022) dimana usia diatas empat dekade dapat menyebabkan penurunan fleksibilitas sirkulasi

mikrovaskuler telinga dalam sehingga membuat organ auditori jauh lebih rentan terhadap kerusakan mekanis eksternal dibandingkan usia muda. Tingginya angka hearing loss di Wilayah Pantura Gresik bukan merupakan kejadian tunggal yang bersifat instan, melainkan proses kerusakan fungsi organ yang terjadi secara perlahan dan terus menerus akibat proses alami yang dipercepat oleh faktor lingkungan dan pekerjaan.

Sementara itu, tingginya keluhan nyeri telinga (*otalgia*) sebesar 69,4%) mengindikasikan kegagalan penyelam dalam melakukan manuver valsava/ekualisasi yang adekuat saat turun ke kedalaman ekstrem (>10 meter). Manuver valsava merupakan teknik pernafasan yang dilakukan dengan menghembuskan napas secara kuat namun hidung dan mulut dalam keadaan tertutup rapat (Astari, Fatimah, & Andarini, 2021). Hukum Boyle menyatakan peningkatan tekanan hidrostatik air laut berbanding terbalik dengan volume gas di ruang tertutup (Ruhban, Arif, Oktavia, & Iskandar, 2024). Penyelaman dalam tanpa APD yang standar memaksa membran timpani meregang secara paksa ke arah dalam demi menahan tekanan barometrik air yang meningkat drastis. Jika kondisi ini terjadi berulang selama belasan tahun, membran timpani akan mengalami mikrotrauma, kongesti vaskular, bahkan robekan kecil yang secara klinis dirasakan sebagai nyeri hebat (barotrauma telinga). Penurunan ambang pendengaran yang parah akibat rusaknya koklea dan membran timpani inilah yang pada akhirnya memicu kompensasi psikomotorik di lapangan, di mana 52,0% nelayan secara tidak sadar mengembangkan perilaku refleksi *lombard effect* berupa kebiasaan berteriak saat berbicara akibat hilangnya kemampuan kontrol umpan balik auditori internal mereka sendiri.

Kedalaman di atas 10 meter merupakan ambang kritis terjadinya barotrauma telinga bagi penyelam tanpa *Self-Contained Breathing Apparatus* (SCBA) akibat besarnya selisih tekanan hidrostatik yang dihantamkan ke liang telinga (Siagian, Nirnasari, Liza Wati, & Adila, 2022). Dalam konteks ini kedalaman menyelam bertindak sebagai pemicu trauma fisik akut (*otalgia*), sementara bising kompresor yang berjalan paralel dengan masa kerja bertahun-tahun bertindak sebagai perusak sensoris saraf (*tinnitus* dan sulit mendengar). Faktor usia menjadi kunci utama karena penuaan biologis menurunkan daya kompensasi dan kapasitas regenerasi seluler makrofag telinga dalam. Akibatnya, hantaman stres mekanika-akustik harian yang awalnya bisa ditoleransi saat usia muda, berubah menjadi agen destruktif yang masif ketika stamina seluler tubuh

menurun di usia lanjut, dan pada akhirnya mengunci status klinis responden ke dalam kondisi *hearing loss* permanen.

Hubungan Faktor Risiko Biofisika, Karakteristik Individu, dan Manifestasi Gejala Klinis Auditori dengan Kejadian Hearing Loss pada Penyelam Tradisional

Hasil analisis bivariat pada Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh variabel independen yang diuji baik dari aspek biofisika, karakteristik individu, dan gejala klinis subyektif secara statistik berhubungan signifikan kejadian *hearing loss* pada penyelam tradisional di Wilayah Pantai Utara Gresik Jawa Timur. Hal ini mengkonfirmasi bahwa gangguan kejadian hearing loss di Wilayah Pantura Gresik Jawa Timur bukan dipicu oleh faktor tunggal melainkan akibat paparan multivariabel yang saling memperberat kondisi patologis sistem auditori responden.

Ditinjau dari aspek risiko biofisika, responden yang melakukan penyelaman (>10 meter) menunjukkan proporsi kejadian hearing loss yang lebih tinggi yaitu sebesar 75,6% (31 responden) dibandingkan penyelam di kedalaman dangkal yang hanya sebesar 52,6%. Hasil uji Chi-Square menunjukkan hubungan ini signifikan dengan nilai $p = 0,021$. Menyelam dengan kedalaman lebih dari 10 meter akan meningkatkan tekanan hidrostatik sebesar 1 ATA pada setiap penambahan 10 meter. Tekanan ini akan menekan gendang telinga. Tanpa alat selam yang standart tekanan hidrostatik akan memaksa gendang telinga melengkung ke dalam secara ekstrem. Jika dilakukan berulang tanpa valvula dapat menyebabkan ruptur dan memicu risiko ketulian permanen.

Pada karakteristik individu, faktor usia >40 tahun ($p = 0,001$) dan masa kerja >10 tahun ($p = 0,003$) mencatat angka kejadian hearing loss yang sangat tinggi dan serupa, yaitu masing-masing sebesar 76,9% (40 responden) dan 77,1% (37 responden). Keterkaitan linier ini diduga bersumber dari paparan bising konstan frekuensi tinggi mesin kompresor ban yang digunakan penyelam tradisional di Wilayah Pantura Gresik. Secara patofisiologis, akumulasi getaran akustik kronis merusak cairan endolimfe dan perilimfe koklea, memicu iskemia stria vaskularis, serta meningkatkan produksi ROS. Akumulasi ROS yang toksik menginduksi apoptosis ireversibel pada outer hair cells organ Korti. Manifestasi NIHL ini diperberat oleh proses presbikusis pada kelompok usia >40 tahun, seiring dengan penurunan fungsi sirkulasi mikrovaskular dan

kapasitas regenerasi seluler telinga dalam secara degeneratif (Iin Fatimah Hanis, Nilawati Uly, & Andi Alim, 2025).

Keselarasan yang kuat juga ditemukan pada manifestasi gejala klinis auditori subjektif. Keluhan telinga berdenging (tinnitus) berhubungan signifikan dengan gangguan pendengaran ($p = 0,003$), di mana 77,1% responden yang mengalami tinnitus terbukti menderita hearing loss. Lebih lanjut, keluhan nyeri telinga (otalgia, $p = 0,001$), sulit mendengar ($p = 0,011$), serta kebiasaan berteriak saat berbicara ($p = 0,0001$) memperlihatkan sebaran proporsi kejadian hearing loss yang dominan pada kelompok penyelam tradisional yang mengalami gejala-gejala klinis tersebut. Tinnitus terjadi akibat kerusakan sel rambut koklea yang memicu transmisi sinyal elektrik abnormal ke korteks auditori, sehingga dipersepsikan sebagai dengingan konstan. Perluasan kerusakan hingga ke sel rambut dalam menurunkan ambang pendengaran secara permanen. Defisit sensorineural lanjut ini mengganggu fungsi *auditory feedback loop* internal penyelam tradisional. Akibat hilangnya kontrol umpan balik suara sendiri, muncul kompensasi perilaku psikomotorik berupa kebiasaan berteriak saat berkomunikasi.

Hasil korelasi variabel yang ditemukan mencerminkan bahwa *hearing loss* pada penyelam tradisional di Wilayah Pantura Gresik terjadi melalui mekanisme proses kerusakan pendengaran yang progresif dan simultan. Gejala klinis yang signifikan merupakan representasi stadium kerusakan fungsional telinga. Otolgia menandakan barotrauma mekanik akut akibat tekanan hidrostatik, sementara tinnitus merupakan alarm biologis awal kerusakan saraf koklea akibat bising kompresor. Akumulasi masa kerja dan faktor penuaan mempercepat transisi kerusakan dari fase subjektif ringan menuju ketulian permanen, yang pada akhirnya mengubah perilaku komunikasi nelayan secara maladaptif.

Determinasi Faktor Dominan Kejadian Hearing Loss Penyelam Tradisional di wilayah Pantai Utara Gresik Jawa Timur Melalui Pendekatan Multivariat

Hasil analisis multivariat melalui regresi logistik metode Enter (Tabel 3) menunjukkan bahwa setelah mengontrol seluruh faktor risiko secara simultan, variabel kedalaman menyelam ($p = 0,064$) dan masa kerja ($p = 0,091$) tidak signifikan secara statistik. Hanya variabel usia >40 tahun yang terbukti menjadi prediktor dominan terhadap kejadian hearing loss ($p = 0,036$; AOR =

2,764; 95% CI = 1,066–7,164). Artinya, dengan mengeliminasi pengaruh kedalaman dan masa kerja, penyelam tradisional berusia >40 tahun berisiko 2,764 kali lebih tinggi mengalami hearing loss dibandingkan kelompok usia yang lebih muda (≤ 40 tahun). Dominasi variabel usia >40 tahun dalam model multivariat tidak menegasikan kontribusi risiko kedalaman menyelam dan masa kerja. Nilai AOR kedalaman (2,430) dan masa kerja (2,300) yang >1 menunjukkan bahwa kedua faktor tersebut secara klinis tetap memberikan kontribusi risiko yang substansial. Temuan ini mengindikasikan bahwa faktor usia bertindak sebagai akumulator biologis dari paparan stresor fisik eksternal tersebut. Memasuki usia >40 tahun, organ auditori mengalami *presbikusis* ditandai dengan penurunan elastisitas membran basilaris, atrofi stria vaskularis, serta penurunan densitas sel saraf ganglion spiralis. Ketika kapasitas biologis yang menurun ini terpapar tekanan hidrostatik ekstrem dan bising konstan secara kronis, beban kerja biologis telinga dalam akan melampaui ambang batas toleransi. Stres mekano-akustik ini memicu lonjakan masif *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang gagal dinetralisir oleh sistem antioksidan endogen yang telah menua, sehingga mempercepat apoptosis outer hair cells koklea secara ireversibel (Sangaji et al., 2020).

Kerentanan organ auditori terhadap trauma fisik eksternal berbanding lurus dengan degenerasi fungsi vascular sirkulasi telinga dalam seiring bertambahnya usia (Ira Sandi Tunny, 2022). Dampak bahaya dua paparan ganda (*double-exposure*) pada penyelam tradisional sangat dipengaruhi oleh penuaan biologis kronis yang menurunkan resiliensi serta kapasitas regenerasi seluler organ korti secara permanen. Penuaan biologis kronis mendominasi pengaruh statistik karena menurunkan resiliensi dan kapasitas regenerasi seluler organ korti secara permanen, berbeda dengan populasi pekerja muda yang memiliki kemampuan pemulihan seluler spontan (*spontaneous cellular recovery*) lebih adekuat. Fenomena ini menjelaskan mengapa penuaan biologis bertindak sebagai titik jenuh yang menampung seluruh akumulasi dampak stres lingkungan kerja. Tekanan hidrostatik ekstrem dan bising kompresor yang semula dapat ditoleransi pada usia muda akibat optimalnya sirkulasi darah dan perbaikan seluler (makrofag telinga dalam), akan termanifestasi secara masif ketika memasuki usia >40 tahun akibat runtuhnya sistem pertahanan seluler telinga. Kondisi tersebut mengukuhkan usia >40 tahun sebagai determinan utama pemicu

hearing loss permanen pada penyelam di Wilayah Pantura Gresik”.

SIMPULAN

Kejadian *hearing loss* pada penyelam tradisional di Wilayah Pantai Utara Gresik dipicu oleh interaksi simultan faktor risiko biofisik (tekanan hidrostatik), individu, dan manifestasi klinis. Hasil analisis bivariat menunjukkan seluruh variabel berhubungan signifikan terhadap gangguan pendengaran, divalidasi oleh tingginya keluhan subjektif berupa sulit mendengar (85,7%), nyeri telinga (otalgia), dan telinga berdenging (tinnitus). Namun, melalui pendekatan multivariat regresi logistik, ditemukan bahwa penyelam tradisional yang berusia >40 tahun merupakan faktor dominan yang paling kuat memicu *hearing loss* dengan nilai Adjusted Odds Ratio (AOR) sebesar 2,764 (95% CI = 1,066 – 7,164; $p=0,036$). Temuan ini menegaskan bahwa proses penuaan biologis bertindak sebagai akumulator final yang melipatgandakan dampak merusak dari paparan ganda kronis (double-exposure) berupa tekanan hidrostatik di kedalaman ekstrem (>10 meter) serta bising mesin kompresor dari masa kerja menahun (>10 tahun), yang berujung pada kerusakan permanen sel rambut koklea.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusan P3M Stikes Hang Tuah Surabaya, Pemerintah Kabupaten Gresik dan Ketua Paguyuban Nelayan Pantura Gresik yang telah memberikan kesempatan, izin dan membantu melakukan penelitian. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh responden yang telah bersedia berpartisipasi dalam penelitian ini, serta kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

REFERENSI

Andrzejczek, S., Lucas, T. C. D., Goodman, M. C., Hussey, N. E., Armstrong, A. J., Carlisle, A., ... Curnick, D. J. (2022). Diving into the vertical dimension of elasmobranch movement ecology. *Science Advances*, 8(33). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abo1754>

Annisa, R. N., Sudaryanto, S., & Prasetyawati, Naris Dyah, Y. (2026). Sensor Akustik Cerdas untuk Pengukuran Tingkat Kebisingan Lingkungan. *Jurnal Anestesi:*

Jurnal Ilmu Kesehatan Dan Kedokteran, 4(April), 204–212. Retrieved from doi:<https://doi.org/10.59680/anestesi.v4i2.2401>

Astari, A. M., Fatimah, & Andarini, S. (2021). The effect of medical history and compressor on barotrauma. *Journal of Public Health Research*, 10(2), 232–235.

<https://doi.org/10.4081/jphr.2021.2163>

Chabibah, N., Mayasari, A. C., Rachmawati, D. S., & Said, F. B. M. (2022). *The Impact of Frequency and Duration of Diving Activities on the Occurrence of Decompressive Sickness*. 14(October), 75–81.

<https://doi.org/10.31674/mjn.2022.v14i02.013>

Dewi, N. W., Sutanegara, K. D. P., Praramdana, M. N., Kasiron, R. Al, & Zulkarnaen, D. A. (2023). Decompression Sickness Tipe 1 pada Nelayan Tradisional : sebuah Tinjauan Pustaka. *Biocity Journal of Pharmacy Bioscience and Clinical Community*, 1(2), 81–88.

<https://doi.org/10.30812/biocity.v1i2.2523>

Iin Fatimah Hanis, Nilawati Uly, & Andi Alim. (2025). Paparan Kebisingan dan Gangguan Pendengaran pada Nelayan serta Pekerja Kelautan: Tinjauan Literatur. *Borneo Nursing Journal (BNJ)*, 7(2), 369–379.

<https://doi.org/10.61878/bnj.v7i2.144>

Ira Sandi Tunny. (2022). Faktor – Faktor Yang Berhubungan Dengan Gangguan Pendengaran Pada Nelayan Penyelam Tradisional Di Negeri Haya Kecamatan Tehoru. *Jurnal Ilmiah Kedokteran Dan Kesehatan*, 1(3), 169–178.

<https://journalcenter.org/index.php/klini/article/view/2039>

Martinus, I., Hadisaputro, S., & Munasik, M. (2020). Hubungan Frekuensi Penyelaman, Lama Menyelam, Pilek, Dan Merokok, Terhadap Kejadian Barotrauma Telinga Tengah Penyelam Tradisional. *Care : Jurnal Ilmiah Ilmu Kesehatan*, 8(1), 127.

<https://doi.org/10.33366/jc.v8i1.1175>

Mulya, S. H., Rahmat, D., & Yudhanto, D. (2022). Noise Induced Hearing Loss (NIHL) pada Nelayan Pengguna Kapal Penangkap Ikan. *Lombok Medical Journal*, 1(2), 127–130.

<https://doi.org/10.29303/lmj.v1i2.1632>

Natarajan, N., Batts, S., & Stankovic, K. M. (2023). Noise-Induced Hearing Loss. *Journal Of Clinical Medicine*, 1–34. Retrieved from

<https://www.mdpi.com/14220067/26/10/4927>

- Nofz, L., Porrett, J., Yii, N., & Alwis, N. De. (2020). Diving-related otological injuries: Initial assessment and management. *Australian Journal of General.* <https://www1.racgp.org.au/ajgp/2020/august/diving-related-otological-injuries>
- Putri, D. N., & Arsana, I. M. A. (2023). Kajian Terhadap Aspek Geospasial Kabupaten dan Kota yang Bercirikan Kepulauan di Indonesia Pendahuluan Indonesia adalah salah satu negara kepulauan (archipelagic state) yang memiliki kondisi geografis sangat strategis . Pada Forum Unit. *Jurnal Of Geodesy and Geomatics*, 18(2), 253–264. <https://doi.org/https://doi.org/10.12962/geoid.v18i2.1775>
- Rachmawati, D. S., Chabibah, N., & Rustam, M. Z. A. (2023). Factors affecting individual beliefs associated with the quality of life of traditional divers in the coastal area. *Healthcare in Low-Resource Settings*, 11(2). <https://doi.org/10.4081/hls.2023.11795>
- Ruhban, A., Arif, M. I., Oktavia, O., & Iskandar, A. A. R. (2024). Faktor Yang Berhubungan Dengan Kejadian Penyakit Hiperbarik Pada Nelayan Penyelam Tradisional Di Kelurahan Bajoe Kabupaten Bone. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika Dan Masyarakat*, 24(1), 1–10. <https://doi.org/10.32382/sulo.v24i1.511>
- Sangaji, M., Sillehu, S., Umasugi, M. T., Tunny, I. S., Marasabessy, R. S., Rina, W., & Achmad, I. (2020). Factors related to hearing disorder on traditional fishermen in namrole sub-district south buru regency. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 14(2), 2603–2608. <https://doi.org/10.37506/ijfmt.v14i2.3511>
- Siagian, Y., Nirnasari, M., Liza Wati, & Adila, N. (2022). Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Gangguan Pendengaran pada Penyelam Tradisional. *Jurnal Keperawatan*, Vol. 12, pp. 51–61. <https://doi.org/10.59870/jurkep.v12i2.137>
- Siagian, Y., Widiastuti, L., Sitindaon, S. H., Atrie, U. Y., & Wati, L. (2023). Studi Komparatif Kejadian Dekompresi Pada Penyelam Tradisional dan Penyelam Modern Comparative study of decompression events in traditional divers and modern divers. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*, 367–375. DOI: [10.35816/jiskh.v12i2.1094](https://doi.org/10.35816/jiskh.v12i2.1094)
- Trevino, M., Zang, A., & Lobarinas, E. (2023). The middle ear muscle reflex: Current and future role in assessing noise-induced cochlear damage. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 153(1), 436–445. <https://doi.org/10.1121/10.0016853>
- Utari Yuni Atrie, Linda Widiastuti, Liza Wati, L. W. (2023). Lama, Kedalaman, dan Frekuensi Penyelaman Terhadap Kejadian Barotrauma Telinga Pada Nelayan Penyelam Tradisional. 6, 1533–1551. <https://doi.org/10.31539/jks.v6i2.5289>
- Walangitan, A. C., Palandeng, O. I., & Runtuwene, J. (2021). Gambaran Gangguan Pendengaran Pada Penyelam. *Jurnal Biomedik (Jbm)*, 13(2), 192. <https://doi.org/10.35790/jbm.13.2.2021.31868>