

## **Efek Intervensi Dinamika Inframerah dan Aliran Udara Terhadap Ekspansi Toraks dan Skor Dispnea Pada Pasien Sindrom Obstruktif Pasca-Tuberkulosis Dengan Komorbiditas: Studi Kasus**

### ***Effect Of Infrared And Airflow Dynamics Interventions On Thoracic Expansion And Dyspnea Score In Post-Tuberculosis Obstructive Syndrome Patients With Comorbidities: A Case Study***

Arshy Prodyanatasari<sup>1\*</sup>, Kurniani Fatma Hardini<sup>2</sup>, Ainaya Putri Cahyani<sup>3</sup>, Abidah Chiara Hulwa<sup>4</sup>, Dimas Rama Pratama<sup>5</sup>, Laksamana Nanca Satriya Diva<sup>6</sup>

<sup>1-6</sup>Prodi D3 Fisioterapi, Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata Kediri

[\\*arshy.prodyanatasari@iik.ac.id](mailto:*arshy.prodyanatasari@iik.ac.id)

#### **ABSTRAK**

**Latar Belakang:** Sindrom Obstruktif Pasca Tuberkulosis (SOPT) merupakan kondisi obstruksi saluran napas menetap pada penyintas TB yang berdampak pada penurunan kualitas hidup. Penatalaksanaan fisioterapi yang aplikatif dengan sumber daya terbatas masih memerlukan kajian lebih lanjut. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas kombinasi Infrared dan Breathing Exercise terhadap peningkatan ekspansi toraks dan penurunan derajat sesak napas pada pasien SOPT dengan komorbiditas. **Metode:** Penelitian studi kasus ini dilakukan pada seorang pasien laki-laki usia 67 tahun dengan diagnosa SOPT, hipertensi, diabetes, dan riwayat merokok. Intervensi diberikan tiga kali pertemuan di RS Paru Manguharjo Madiun pada Desember 2025. Pengumpulan data melalui anamnesis, pemeriksaan fisik, pengukuran ekspansi toraks (pita ukur pada aksila, ICS 4, processus xypoides), skala Borg, dan MMRC. Analisis data secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai antar pertemuan. **Hasil:** Terjadi peningkatan ekspansi toraks 1-2 cm pada ketiga titik ukur, namun skala Borg (3) dan MMRC (0/4) stabil. **Kesimpulan:** Kombinasi Infrared dan Breathing Exercise efektif meningkatkan ekspansi toraks namun belum cukup menurunkan sesak napas subjektif dan meningkatkan aktivitas fungsional dalam tiga kali pertemuan. Diperlukan penelitian dengan durasi lebih panjang (8-12 minggu) dan desain lebih kuat. **Kata kunci:** *breathing exercise*; ekspansi toraks; infrared; sesak nafas; PTOS

#### **ABSTRACT**

**Background:** Post-Tuberculosis Obstructive Syndrome (PTOS) is a condition of persistent airway obstruction in TB survivors that impacts quality of life. Applicative physiotherapy management with limited resources still requires further study. **Objective:** This study aimed to determine the effectiveness of combined Infrared and Breathing Exercise on improving thoracic expansion and

*Arshy Prodyanatasari dkk / Efek Intervensi .....*

*reducing dyspnea score in PTOS patients with comorbidities. **Method:** This case study was conducted on a 67-year-old male patient diagnosed with PTOS, hypertension, diabetes, and a history of smoking. Interventions were given in three sessions at Manguharjo Lung Hospital, Madiun in December 2025. Data collection included anamnesis, physical examination, thoracic expansion measurement (measuring tape at axilla, ICS 4, xiphoid process), Borg scale, and MMRC scale. Data were analyzed descriptively quantitatively by comparing values between sessions. **Results:** There was an increase in thoracic expansion of 1-2 cm at all three measurement points, but the Borg scale (3) and MMRC (0/4) remained stable. **Conclusion:** The combination of Infrared and Breathing Exercise effectively increased thoracic expansion but was insufficient to reduce subjective dyspnea and improve functional activity in three sessions. Further research with longer duration (8-12 weeks) and stronger design is needed.*

**Keywords:** *breathing exercise; thoracic expansion; infrared; dyspnea; PTOS*

## **PENDAHULUAN**

Tuberkulosis (TB) paru hingga saat ini masih menjadi tantangan kesehatan masyarakat global yang signifikan. Meskipun dunia telah berupaya keras melakukan eliminasi tuberkulosis, terdapat populasi besar penyintas TB yang masih menghadapi beban komplikasi jangka panjang yang serius. Menurut laporan *World Health Organization* (WHO), jutaan kasus TB baru didiagnosis setiap tahunnya dan mereka yang berhasil menyelesaikan pengobatan tidak selalu terbebas sepenuhnya dari dampak penyakit. Sebuah studi pemodelan memperkirakan bahwa jumlah penyintas TB secara global mencapai angka yang sangat besar, dan sebagian dari mereka akan hidup dengan sekuel kronis pasca infeksi (Sehgal, et al., 2024).

Sindrom Obstruktif Pasca Tuberkulosis (SOPT), yang dalam literatur internasional lebih dikenal sebagai *Post-Tuberculosis Lung Disease with Airflow Obstruction* (PTLD-AFO), merupakan kondisi obstruksi saluran napas yang menetap pada pasien yang telah dinyatakan sembuh secara bakteriologis dari tuberkulosis paru. Kondisi ini terjadi akibat kerusakan struktural paru seperti fibrosis, kavitas, serta perubahan bronkial yang disebabkan oleh proses inflamasi tuberkulosis sehingga menimbulkan penurunan fungsi ventilasi paru dengan gambaran pola obstruktif (review, 2024). Sekitar 60% pasien dengan penyakit paru pasca tuberkulosis menunjukkan beberapa kelainan spirometri dan obstruksi didokumentasikan terjadi pada 18-22% pasien. Lebih mencengangkan lagi, *disability-adjusted life-years* (DALYs) yang diatribusikan pada PTLD mewakili sekitar 50% dari total beban DALYs akibat tuberkulosis (Sehgal, et al., 2024). Data ini menunjukkan bahwa beban penyakit akibat sekuel TB hampir setara dengan beban penyakit akut TB itu sendiri, sebuah fakta yang sering terabaikan dalam program pengendalian TB nasional.

Arshy Prodyanatasari dkk / Efek Intervensi .....

Di Indonesia, urgensi penanganan SOPT menjadi sangat tinggi mengingat prevalensi TB yang masih besar. Setelah menjalani pengobatan selama enam bulan, penderita TB seringkali masih menyisakan gejala sisa berupa gangguan faal paru dengan kelainan obstruktif yang memiliki gambaran klinis mirip dengan Penyakit Paru Obstruktif Kronik (PPOK) (Mustofa, et al., 2023; Albin & Rosfadilla, 2025). Problematika yang timbul pada pasien SOPT meliputi sesak napas, penurunan ekspansi sangkar toraks, penurunan kapasitas latihan, serta menurunnya aktivitas fungsional dan kualitas hidup (Nurhandrita, et al., 2024; Nurmalasari & Apriantoro, 2020). Kondisi ini menciptakan beban ganda: beban penyakit fisik yang membatasi produktivitas dan beban psikososial akibat ketidakmampuan berpartisipasi penuh dalam masyarakat. Fisioterapi memiliki peran strategis dalam mengatasi problematika tersebut melalui berbagai modalitas yang bertujuan mengembalikan fungsi pernapasan dan meningkatkan kapasitas fungsional pasien.

Berbagai penelitian telah menunjukkan efektivitas rehabilitasi paru pada pasien dengan sekuel pasca tuberkulosis. Hussain dkk. (2024) dalam studinya menemukan bahwa rehabilitasi paru meningkatkan parameter dispnea, kualitas hidup, dan indeks kesehatan mental secara signifikan pada pasien dengan sekuel pasca tuberkulosis yang memiliki keterbatasan fungsional (Hussain, et al., 2024). Penelitian tersebut melaporkan penurunan skala MMRC dari 1,5 menjadi 0,7 pasca rehabilitasi serta perbaikan skor total *St. George's Respiratory Questionnaire* (SGRQ) sebesar 17 poin. Studi yang lebih mutakhir oleh Orooj dkk. (2025) dalam uji klinis acak terkendali pada 90 pasien pasca TB membuktikan efektivitas jangka panjang program rehabilitasi paru selama 8 minggu (Orooj, et al., 2025). Kelompok intervensi menunjukkan peningkatan jarak tempuh 6 menit (6MWD) sebesar 217 meter pasca intervensi dan masih bertahan 143 meter lebih tinggi pada evaluasi 12 bulan. Volume ekspirasi paksa detik pertama (FEV1) meningkat 41% pasca intervensi dan mencapai 45% pada 12 bulan. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa rehabilitasi paru tidak hanya bermanfaat dalam jangka pendek tetapi juga memberikan dampak berkelanjutan.

Penelitian multisenter di India oleh Sinha dkk. (2025) pada 260 individu dengan penyakit paru pasca tuberkulosis menunjukkan perbaikan signifikan pada parameter klinis, uji jalan 6 menit, uji keseimbangan fungsional, dan kekuatan otot setelah 12 minggu program rehabilitasi paru berbasis rumah (Sinha, et al., 2025). Perbaikan signifikan juga diamati pada semua domain skor SGRQ serta parameter fungsi paru FEV1 dan FVC. Fonseca dkk. (2025) menambahkan bukti bahwa rehabilitasi paru berbasis rumah mampu memperbaiki dinamika ventilasi, toleransi latihan, kualitas hidup, dan disfungsi saluran napas kecil yang diukur dengan osilometri respirasi (Fonseca, et al., 2025).

Di Indonesia, Triaksony (2021) melaporkan bahwa intervensi *Infrared* dan *Breathing Exercise* pada kasus SOPT menghasilkan penurunan nyeri dan spasme, peningkatan ekspansi sangkar toraks, penurunan derajat sesak napas, dan penurunan produksi sputum (Triaksony, 2021). Demikian pula Auliya (2023) menemukan bahwa kombinasi infra red dan *chest physiotherapy* pada pasien SOPT mampu menurunkan sesak

*Arshy Prodyanatasari dkk / Efek Intervensi .....*

napas, menurunkan produksi sputum, meningkatkan ekspansi sangkar toraks, dan meningkatkan kemampuan aktivitas fungsional pasien (Auliya, 2023). Penelitian-penelitian tersebut menjadi fondasi penting bagi pengembangan protokol penatalaksanaan fisioterapi pada kasus SOPT di Indonesia.

Meskipun bukti ilmiah mengenai efektivitas rehabilitasi paru pada pasien pasca tuberkulosis semakin kuat, beberapa kesenjangan penelitian masih perlu diisi. Pertama, sebagian besar penelitian internasional menggunakan program rehabilitasi paru komprehensif yang melibatkan berbagai modalitas seperti latihan endurance, latihan resistance, dan edukasi (Orooj, et al., 2025; Sinha, et al., 2025). Masih terbatas penelitian yang secara spesifik mengevaluasi efektivitas kombinasi modalitas fisioterapi sederhana seperti *Infrared* dan *Breathing Exercise* yang aplikatif di setting rumah sakit dengan sumber daya terbatas. Kedua, penelitian terdahulu lebih banyak berfokus pada luaran berupa kapasitas latihan (6MWD) dan kualitas hidup (SGRQ) (Hussain, et al., 2024; Fonseca, et al., 2025). Evaluasi terhadap parameter spesifik seperti ekspansi sangkar toraks dan spasme otot pernapasan masih jarang dilaporkan, padahal kedua parameter ini merupakan target intervensi langsung fisioterapi dan berkorelasi dengan perbaikan fungsional pasien. Ketiga, penelitian tentang SOPT di Indonesia masih didominasi oleh laporan kasus tunggal atau seri kasus dengan jumlah terbatas (Triaksony, 2021; Auliya, 2023). Belum banyak penelitian yang mendokumentasikan secara sistematis respons pasien SOPT terhadap intervensi fisioterapi dengan menggunakan *outcome measure* yang terstandar seperti skala *Borg* dan MMRC secara serial dan terintegrasi dalam satu kerangka evaluasi yang komprehensif.

Berdasarkan gap penelitian tersebut, studi kasus ini bertujuan untuk mengetahui penatalaksanaan fisioterapi pada kasus *Syndrome Obstructive Post Tuberculosis* (SOPT) dengan modalitas *Infrared* dan *Breathing Exercise*, serta untuk mendeskripsikan perubahan ekspansi sangkar toraks, derajat sesak napas, dan kemampuan fungsional pasien setelah diberikan intervensi fisioterapi sebanyak tiga kali pertemuan di RS Paru Manguharjo Madiun. Tujuan ini sejalan dengan rumusan masalah yang telah diidentifikasi, yaitu bagaimana penatalaksanaan fisioterapi pada kasus SOPT dengan modalitas tersebut dapat memberikan dampak terhadap perbaikan kondisi klinis pasien.

Kebaruan dari studi kasus ini terletak pada pendokumentasian komprehensif penatalaksanaan fisioterapi pada pasien SOPT dengan karakteristik khusus: usia lanjut (67 tahun), memiliki penyakit penyerta (hipertensi dan diabetes), serta riwayat merokok aktif sejak usia sekolah. Kombinasi faktor-faktor ini mencerminkan kompleksitas pasien SOPT yang ditemui dalam praktik klinis sehari-hari. Studi ini juga mendokumentasikan secara rinci perubahan ekspansi sangkar toraks pada tiga titik pengukuran (aksila, ICS 4, dan processus xypoides) serta evaluasi sesak napas menggunakan skala *Borg* dan MMRC secara serial selama tiga kali pertemuan. Pendokumentasian yang sistematis ini memberikan gambaran nyata tentang respons pasien terhadap intervensi *Infrared* dan *Breathing Exercise* dalam setting pelayanan fisioterapi di rumah sakit paru.

*Arshy Prodyanatasari dkk / Efek Intervensi .....*

Dengan demikian, studi kasus ini berkontribusi dalam memperkaya literatur tentang penatalaksanaan fisioterapi SOPT di Indonesia, khususnya dalam konteks pelayanan kesehatan sekunder dengan keterbatasan sumber daya, serta memberikan gambaran praktis tentang aplikasi modalitas fisioterapi sederhana yang terbukti efektif secara klinis.

Sebagai inovasi pengembangan dari penelitian sebelumnya, studi kasus ini mengusung judul baru yang lebih mencerminkan kekhasan dan kebaruan penelitian, yaitu: *Intervensi Berbasis Gelombang Elektromagnetik (Infrared) dan Dinamika Aliran Udara (Breathing Exercise) pada Pasien SOPT dengan Komorbiditas: Studi Kasus*. Judul ini menonjolkan beberapa unsur kebaruan, yaitu penekanan pada evaluasi parameter spesifik ekspansi toraks yang diukur pada tiga titik berbeda, identifikasi pasien dengan komorbiditas sebagai representasi kasus kompleks di dunia nyata, serta penggunaan *outcome measure* terstandar (skala *Borg* dan *MMRC*) yang dievaluasi secara serial. Judul ini juga lebih sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah kontemporer yang menekankan pada spesifikasi intervensi, populasi, dan luaran yang diukur.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian studi kasus (*case study*) dengan pendekatan deskriptif. Pendekatan deskriptif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan secara sistematis penatalaksanaan fisioterapi pada pasien Sindrom Obstruktif Pasca Tuberkulosis (SOPT) serta perubahan yang terjadi setelah diberikan intervensi berupa *Infrared* dan *Breathing Exercise*. Metode studi kasus memungkinkan peneliti untuk melakukan eksplorasi mendalam terhadap respons pasien terhadap intervensi fisioterapi dengan mempertimbangkan karakteristik unik pasien, termasuk usia lanjut, penyakit penyerta, dan riwayat merokok yang menjadi faktor kompleks dalam kasus ini.

Subjek dalam penelitian ini adalah satu orang pasien dengan diagnosa medis Sindrom Obstruktif Pasca Tuberkulosis (SOPT) yang menjalani fisioterapi di RS Paru Manguharjo Provinsi Jawa Timur. Pemilihan subjek dilakukan secara *purposive sampling* berdasarkan kriteria inklusi yang telah ditetapkan, meliputi: pasien dengan diagnosa medis SOPT yang ditegakkan oleh dokter spesialis paru, bersedia mengikuti program fisioterapi selama periode penelitian, mampu berkomunikasi dengan baik dan mengikuti instruksi terapis, serta memiliki kondisi medis yang stabil untuk menjalani intervensi fisioterapi. Adapun kriteria eksklusi meliputi pasien dengan kondisi akut yang memerlukan penanganan medis segera, pasien dengan gangguan kognitif berat yang tidak dapat mengikuti instruksi, dan pasien yang menolak untuk berpartisipasi dalam penelitian. Subjek dalam penelitian ini adalah Tn. N, usia 67 tahun, dengan diagnosa SOPT, memiliki riwayat hipertensi dan diabetes sebagai penyakit penyerta, serta riwayat merokok aktif sejak usia sekolah.

Arshy Prodyanatasari dkk / Efek Intervensi .....

Penelitian dilaksanakan di Poli Rehabilitasi, RS Paru Manguharjo Madiun, Provinsi Jawa Timur. Waktu penelitian dilaksanakan selama periode praktik klinik, yaitu pada bulan Desember 2025 dengan rincian pelaksanaan intervensi fisioterapi sebanyak tiga kali pertemuan (T1, T2, dan T3) dalam rentang waktu tersebut. Pengambilan data dilakukan pada setiap pertemuan untuk mengevaluasi perkembangan kondisi pasien secara serial. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis.

Pertama, pengumpulan data primer diperoleh melalui anamnesis (wawancara) langsung dengan pasien untuk menggali informasi mengenai keluhan utama, riwayat penyakit sekarang, riwayat penyakit dahulu, riwayat penyakit penyerta, serta riwayat pribadi dan keluarga. Anamnesis dilakukan dengan pendekatan auto-anamnesis dimana pasien menjadi sumber informasi utama. Kedua, pemeriksaan fisik dilakukan untuk memperoleh data objektif meliputi pemeriksaan tanda vital (tekanan darah, denyut nadi, frekuensi pernapasan, dan temperatur), inspeksi statis dan dinamis, palpasi untuk mengidentifikasi spasme otot, perkusi, dan auskultasi untuk mengevaluasi suara napas tambahan. Ketiga, pengukuran spesifik dilakukan untuk mengevaluasi ekspansi sangkar toraks menggunakan pita ukur (*midline*) pada tiga titik pengukuran yaitu setinggi aksila, setinggi ICS 4, dan setinggi processus xypoides. Pengukuran dilakukan pada posisi inspirasi dan ekspirasi, kemudian dihitung selisihnya sebagai nilai ekspansi toraks. Keempat, pengukuran derajat sesak napas menggunakan skala *Borg* dan *Modified Medical Research Council (MMRC) Dyspnea Scale*. Skala *Borg* digunakan untuk mengukur persepsi sesak napas subjektif pasien dengan rentang nilai 0-10, sedangkan MMRC digunakan untuk menilai dampak sesak napas terhadap aktivitas fungsional dengan rentang grade 0-4. Pengumpulan data dilakukan sebelum intervensi (T1) dan setelah intervensi pada pertemuan kedua (T2) dan ketiga (T3) untuk melihat perubahan yang terjadi.

Instrumen yang digunakan dalam pengumpulan data penelitian, meliputi: lembar status klinis fisioterapi, pita ukur (*metline*) dengan ketelitian 0,5 cm, sphygmomanometer, stetoskop, termometer untuk mengukur suhu tubuh, skala *Borg*, dan lembar penilaian MMRC *Dyspnea Scale* serta dokumentasi foto dan catatan perkembangan pasien juga digunakan sebagai instrumen pendukung untuk melengkapi data penelitian. Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan analisis deskriptif dengan pendekatan kuantitatif sederhana. Data hasil pengukuran ekspansi sangkar toraks, skala *Borg*, dan skala MMRC yang diperoleh dari tiga kali evaluasi (T1, T2, dan T3) dianalisis dengan membandingkan nilai antar waktu pengukuran untuk melihat kecenderungan perubahan yang terjadi. Analisis dilakukan dengan menyajikan data dalam bentuk tabel dan narasi deskriptif yang menggambarkan perubahan kondisi pasien sebelum dan setelah intervensi fisioterapi. Perubahan positif ditandai dengan peningkatan nilai ekspansi sangkar toraks (selisih inspirasi-ekspirasi yang semakin besar) serta penurunan skor pada skala *Borg* dan MMRC. Selain itu, analisis juga dilakukan terhadap data kualitatif hasil anamnesis dan observasi untuk memberikan gambaran kontekstual mengenai respons pasien terhadap intervensi

fisioterapi. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan berdasarkan konsep dan teori yang relevan serta dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu untuk melihat kesesuaian temuan dengan bukti ilmiah yang telah ada.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pemeriksaan dan intervensi fisioterapi yang telah dilakukan sebanyak tiga kali pertemuan pada pada pasien Tn. N (67 tahun) dengan diagnosa Sindrom Obstruktif Pasca Tuberkulosis (SOPT) yang memiliki komorbiditas hipertensi dan diabetes serta riwayat merokok aktif sejak usia sekolah. Intervensi diberikan sebanyak tiga kali pertemuan menggunakan kombinasi *Infrared* dan *Breathing Exercise* (*Deep Breathing*, *Pursed Lip Breathing*, dan *Breathing Control*). Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan ekspansi sangkar toraks pada ketiga titik pengukuran, namun belum terjadi penurunan derajat sesak napas (skala *Borg*) maupun peningkatan aktivitas fungsional (skala MMRC). Data penelitian menunjukkan peningkatan selisih ekspansi toraks pada ketiga titik pengukuran. Pada titik aksila, selisih ekspansi meningkat dari 2 cm pada T1 menjadi 3 cm pada T3. Pada titik ICS 4, meningkat dari 1 cm pada T1 menjadi 2 cm pada T3. Pada titik *processus xypoides*, meningkat dari 1 cm pada T1 menjadi 2 cm pada T3. Peningkatan sebesar 1-2 cm ini terjadi secara progresif meskipun pada T1 ke T2 belum terlihat perubahan bermakna.

Dari perspektif fisika, peningkatan dapat dijelaskan melalui mekanisme kerja *Infrared* sebagai radiasi elektromagnetik dan *Breathing Exercise* yang menerapkan hukum Boyle. *Infrared* bekerja berdasarkan prinsip radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang 7.700 - 4 juta Angstrom yang mampu menembus jaringan hingga kedalaman 2-3 cm (Khoeriyanto, 2023; Prodyantasar, 2015). Ketika radiasi *Infrared* mengenai jaringan otot M. *Sternocleomastoideus* yang mengalami spasme pada pasien, energi radiasi diabsorpsi dan diubah menjadi energi panas melalui proses vibrasi molekul. Peningkatan suhu jaringan ini menyebabkan vasodilatasi pembuluh darah melalui efek langsung pada otot polos pembuluh darah dan refleks akson. Vasodilatasi meningkatkan suplai darah ke otot yang mengalami spasme, membawa oksigen dan nutrisi serta mengeluarkan sisa metabolisme seperti asam laktat yang menyebabkan nyeri dan ketegangan otot. Relaksasi otot bantu pernapasan ini menghilangkan hambatan mekanis pada gerakan sangkar toraks, sehingga otot-otot pernapasan utama (diafragma dan interkostalis eksternal) dapat bekerja lebih optimal saat inspirasi. Pada pasien, keluhan leher terasa cengeng/pegal-pegal berkurang setelah intervensi *Infrared*, mengindikasikan keberhasilan modalitas ini dalam merelaksasi otot M. *Sternocleomastoideus*.

*Breathing Exercise*, khususnya *Deep Breathing*, menerapkan hukum Boyle tentang gas yang menyatakan bahwa pada suhu konstan, tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya ( $P \propto 1/V$ ). Saat pasien melakukan inspirasi dalam melalui hidung, otot diafragma berkontraksi dan bergerak ke bawah sementara otot interkostalis eksternal berkontraksi mengangkat tulang rusuk ke atas dan ke luar. Akibatnya, volume rongga toraks meningkat.

Arshy Prodyanatasari dkk / Efek Intervensi .....

Berdasarkan hukum Boyle, peningkatan volume rongga toraks menyebabkan tekanan intrapleura menurun menjadi sekitar -6 hingga -8 cmH<sub>2</sub>O (lebih negatif dari tekanan atmosfer). Gradien tekanan antara atmosfer (tekanan lebih tinggi) dan alveoli (tekanan lebih rendah) ini menyebabkan udara mengalir masuk ke paru-paru. Inspirasi dalam yang dilakukan berulang-ulang melatih otot-otot pernapasan untuk berkontraksi lebih kuat, meningkatkan mobilitas sendi kostovertebral dan kostosternal, serta meregangkan jaringan parut fibrotik akibat tuberkulosis.

Pada pasien SOPT, fibrosis paru menurunkan komplians paru yang secara fisika didefinisikan sebagai perubahan volume per unit perubahan tekanan ( $C = \Delta V / \Delta P$ ), sehingga untuk menghasilkan volume udara yang sama diperlukan perubahan tekanan yang lebih besar. *Deep Breathing* secara bertahap meningkatkan komplians paru dengan meregangkan jaringan ikat fibrotik, yang tercermin dalam peningkatan ekspansi toraks. *Pursed Lip Breathing* menciptakan tahanan di ujung jalan napas saat ekspirasi. Dari perspektif fisika aliran fluida, teknik ini meningkatkan tekanan intra-bronkus selama ekspirasi sehingga mencegah kolaps dini jalan napas kecil yang cenderung terjadi pada pasien obstruktif akibat hilangnya elastisitas jaringan paru. Dengan mempertahankan jalan napas tetap terbuka lebih lama, udara yang terperangkap (*air trapping*) di belakang sumbatan dapat dikeluarkan lebih sempurna. Hal ini mengurangi volume residu dan meningkatkan volume tidal pada inspirasi berikutnya. Sinergi antara relaksasi otot akibat efek termal *Infrared* dan perbaikan mekanika pernapasan melalui *Breathing Exercise* menjelaskan peningkatan ekspansi toraks yang diamati dalam penelitian ini. Temuan ini konsisten dengan (Triaksony, 2021) dan (Auliya, 2023) yang melaporkan peningkatan ekspansi toraks setelah intervensi serupa pada pasien SOPT.

Meskipun terjadi peningkatan ekspansi toraks, skala *Borg* menunjukkan nilai stabil pada angka 3 selama tiga kali evaluasi. Angka 3 pada skala *Borg* menunjukkan sesak napas ringan hingga sedang yang dirasakan pasien. Stabilitas ini perlu dianalisis dari perspektif hukum Poiseuille tentang aliran fluida dalam pipa. Hukum Poiseuille menyatakan bahwa tahanan aliran fluida dalam pipa berbanding terbalik dengan jari-jari pangkat empat ( $R \propto 1/r^4$ ). Dalam konteks jalan napas, tahanan saluran napas dirumuskan sebagai  $R = 8\eta L / \pi r^4$ , di mana  $\eta$  adalah viskositas udara,  $L$  adalah panjang saluran, dan  $r$  adalah jari-jari saluran napas.

Pada pasien SOPT, proses inflamasi kronis akibat tuberkulosis menyebabkan remodeling saluran napas berupa fibrosis, penyempitan lumen, dan hilangnya elastisitas jaringan pendukung. Akibatnya, jari-jari efektif jalan napas menurun. Penurunan jari-jari menjadi setengahnya ( $r \rightarrow \frac{1}{2}r$ ) akan meningkatkan tahanan 16 kali lipat karena sifat pangkat empat dalam rumus Poiseuille. Inilah sebabnya mengapa obstruksi ringan sekalipun dapat menyebabkan peningkatan kerja napas yang signifikan. Pemeriksaan auskultasi pada pasien menunjukkan adanya wheezing di ICS 2 dextra dan ronki di ICS 4 dan 6 sinistra. Wheezing mengindikasikan turbulensi aliran udara akibat penyempitan jalan napas.

Arshy Prodyanatasari dkk / Efek Intervensi .....

Dalam dinamika fluida, aliran laminar berubah menjadi turbulen ketika melewati penyempitan, yang ditandai dengan peningkatan bilangan Reynolds ( $Re = \rho v d / \eta$ ). Aliran turbulen membutuhkan gradien tekanan yang lebih besar untuk mempertahankan laju aliran yang sama, yang dirasakan pasien sebagai sesak napas. *Infrared* dan *Breathing Exercise* yang diberikan dalam tiga kali pertemuan efektif memperbaiki komponen muskuloskeletal (spasme otot) dan mobilitas toraks, namun belum cukup untuk mengatasi komponen obstruksi jalan napas yang bersifat struktural. Perbaikan patensi jalan napas (peningkatan r) memerlukan waktu lebih lama karena melibatkan proses pengurangan edema mukosa, pembersihan sekret yang menumpuk, dan remodeling jaringan paru. Sesak napas merupakan persepsi subjektif yang diintegrasikan di korteks serebral berdasarkan *input* sensoris dari mekanoreseptor dinding dada, kemoreseptor, dan reseptor iritan jalan napas. Meskipun mekanika toraks membaik (tercermin dari peningkatan ekspansi), sinyal dari jalan napas yang masih menyempit tetap mengirimkan sinyal ke pusat pernapasan bahwa upaya napas masih tinggi. Penelitian Orooj dkk. (2025) membuktikan bahwa perbaikan signifikan pada parameter dispnea baru terlihat setelah program rehabilitasi paru selama 8 minggu (Orooj, et al., 2025). Hussain dkk. (2024) juga melaporkan penurunan skala MMRC setelah intervensi yang lebih panjang (Hussain, et al., 2024). Hal ini menegaskan bahwa durasi tiga kali pertemuan dalam penelitian ini belum cukup untuk menghasilkan perubahan bermakna pada persepsi subjektif sesak napas.

Skala MMRC menunjukkan nilai grade 0/4 yang stabil selama tiga kali evaluasi. Grade 0 berarti pasien hanya merasakan sesak saat aktivitas berat. Stabilitas ini dapat dianalisis menggunakan konsep usaha (*work*) dan daya (*power*) dalam fisika. Usaha pernapasan didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk menggerakkan volume udara tertentu, yang secara fisiologis setara dengan tekanan yang dihasilkan otot pernapasan dikalikan perubahan volume ( $W = P \times \Delta V$ ). Daya pernapasan merupakan usaha per satuan waktu. Pada pasien obstruktif, usaha pernapasan meningkat secara signifikan karena dua komponen: usaha elastis (melawan *recoil* paru dan dinding dada) dan usaha resistif (melawan tahanan jalan napas). Berdasarkan hukum Poiseuille, komponen resistif meningkat secara eksponensial seiring penurunan jari-jari jalan napas.

Peningkatan ekspansi toraks sebesar 1-2 cm menunjukkan perbaikan komponen elastis (kemampuan paru mengembang), namun komponen resistif kemungkinan besar masih tinggi mengingat obstruksi jalan napas memerlukan waktu lebih lama untuk membaik. Akibatnya, meskipun pasien mampu mengembangkan toraks lebih luas, usaha yang diperlukan untuk mengalirkan udara melalui jalan napas yang sempit tetap tinggi. Hal ini menjelaskan mengapa pasien masih merasakan keterbatasan saat melakukan aktivitas yang membutuhkan peningkatan ventilasi, seperti berjalan jauh atau mengangkat benda berat sesuai keluhan pasien. Faktor komorbiditas juga berperan dalam stabilitas skor MMRC. Pasien memiliki hipertensi dengan tekanan darah 163/68 mmHg dan diabetes menunjukkan beban kerja jantung yang tinggi. Kondisi ini membatasi kapasitas pasien untuk melakukan

*Arshy Prodyanatasari dkk / Efek Intervensi .....*

aktivitas berat karena peningkatan curah jantung akan meningkatkan tekanan darah lebih lanjut, yang dapat berisiko. Pada diabetes, mikrosirkulasi terganggu sehingga pengiriman oksigen ke jaringan otot tidak optimal. Akibatnya, pasien lebih cepat mengalami kelelahan dan sesak saat beraktivitas. Sinha dkk. (2025) melaporkan perbaikan signifikan pada uji fungsional setelah 12 minggu program rehabilitasi paru. Fonseca dkk. (2025) juga menekankan bahwa perbaikan toleransi latihan memerlukan program berkelanjutan. Temuan ini mengonfirmasi bahwa perubahan pada tingkat aktivitas fungsional membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan perubahan pada tingkat impairment (fungsi tubuh).

Pemeriksaan auskultasi menemukan wheezing di ICS 2 dextra dan ronki di ICS 4 dan 6 sinistra. Wheezing secara fisika adalah suara yang dihasilkan oleh aliran udara turbulen saat melewati jalan napas yang menyempit. Intensitas dan frekuensi wheezing ditentukan oleh derajat penyempitan dan kecepatan aliran udara. Ronki adalah suara gelembung udara yang melewati sekret cair di jalan napas. Keberadaan kedua suara tambahan ini mengonfirmasi bahwa komponen obstruktif pada pasien masih signifikan, yang menjelaskan mengapa sesak napas subjektif belum membaik meskipun ekspansi toraks meningkat. Pemeriksaan palpasi menemukan spasme otot M. Sternocleidomastoideus. Otot ini adalah otot bantu pernapasan yang akan direkrut saat otot utama (diafragma dan interkostalis) tidak mampu menghasilkan tekanan inspirasi yang cukup akibat peningkatan beban kerja. Rekrutmen otot bantu ini meningkatkan konsumsi oksigen otot pernapasan dan berkontribusi pada sensasi sesak. *Infrared* bekerja dengan mentransfer energi radiasi ke jaringan otot, meningkatkan suhu, dan merelaksasi spasme. Keberhasilan *Infrared* dalam merelaksasi otot ini berkontribusi pada peningkatan ekspansi toraks.

Temuan penelitian ini memiliki implikasi klinis penting. Peningkatan ekspansi toraks sebesar 1-2 cm setelah tiga kali intervensi membuktikan bahwa kombinasi *Infrared* dan *Breathing Exercise* dapat memperbaiki komponen mekanik pernapasan. Keberhasilan ini dicapai melalui transfer energi radiasi yang merelaksasi otot spasme, aplikasi hukum Boyle yang meningkatkan gradien tekanan inspirasi, dan prinsip tahanan ekspirasi yang mencegah kolaps jalan napas. Namun, stabilitas skor *Borg* dan MMRC menunjukkan bahwa perbaikan komponen mekanik saja tidak cukup untuk menghilangkan sesak napas subjektif dan keterbatasan fungsional dalam waktu singkat. Komponen obstruktif yang bersifat struktural (penyempitan jalan napas) memerlukan waktu lebih lama untuk membaik karena melibatkan hukum Poiseuille yang sensitif terhadap perubahan jari-jari jalan napas. Implikasi klinisnya adalah program fisioterapi pada pasien SOPT harus berkelanjutan dengan durasi minimal 8-12 minggu dan frekuensi lebih intensif, serta dikombinasikan dengan manajemen medis untuk mengatasi komponen obstruktif seperti bronkodilator dan manajemen faktor risiko berupa kontrol hipertensi, diabetes, dan berhenti merokok.

*Arshy Prodyanatasari dkk / Efek Intervensi .....*

Secara teoretis, penelitian ini memperkuat pemahaman bahwa fisioterapi respirasi pada dasarnya adalah aplikasi prinsip-prinsip fisika pada sistem biologis. *Infrared* bekerja berdasarkan prinsip radiasi elektromagnetik, *Breathing Exercise* berdasarkan hukum Boyle dan dinamika fluida, sementara respons fisiologis pasien ditentukan oleh hukum Poiseuille dan mekanika pernapasan. Pemahaman ini penting untuk mengoptimalkan parameter intervensi seperti jarak *Infrared*, durasi, frekuensi latihan, dan rasio inspirasi-ekspirasi agar diperoleh hasil yang maksimal.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, dimana desain studi kasus dengan subjek tunggal membatasi generalisasi temuan pada populasi yang lebih luas. Durasi intervensi tiga kali pertemuan relatif singkat untuk melihat perubahan pada semua parameter, terutama parameter subjektif dan fungsional. Tidak tersedianya spirometri menyebabkan evaluasi fungsi paru hanya berdasarkan ekspansi toraks, bukan volume paru yang lebih akurat. Tidak ada evaluasi jangka panjang untuk melihat keberlanjutan efek intervensi. Meskipun demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam menjelaskan mekanisme kerja intervensi fisioterapi pada SOPT melalui pendekatan fisika, serta membuktikan bahwa kombinasi *Infrared* dan *Breathing Exercise* efektif meningkatkan ekspansi toraks dalam waktu singkat. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut dengan desain yang lebih kuat, durasi lebih panjang, dan jumlah subjek lebih besar, serta dapat menjadi referensi bagi fisioterapis dalam memberikan intervensi yang tepat pada pasien SOPT dengan mempertimbangkan aspek fisika yang mendasari setiap modalitas terapi.

## **KESIMPULAN**

Penatalaksanaan fisioterapi dengan kombinasi *Infrared* dan *Breathing Exercise* pada pasien Sindrom Obstruktif Pasca Tuberkulosis (SOPT) dengan komorbiditas hipertensi dan diabetes selama tiga kali pertemuan berhasil meningkatkan ekspansi sangkar toraks pada ketiga titik pengukuran (aksila, ICS 4, dan processus xypoides) dengan selisih peningkatan 1-2 cm. Secara fisika, peningkatan ini dijelaskan melalui efek termal radiasi infrared yang merelaksasi spasme otot M. Sternocleidomastoideus serta aplikasi hukum Boyle pada *Breathing Exercise* yang meningkatkan gradien tekanan inspirasi dan volume tidal. Namun, belum terjadi penurunan derajat sesak napas (skala Borg) maupun peningkatan aktivitas fungsional (skala MMRC) dalam periode intervensi tersebut, yang secara fisika dijelaskan oleh hukum Poiseuille dimana tahanan jalan napas berbanding terbalik dengan pangkat empat jari-jari saluran napas, sehingga perbaikan obstruksi struktural memerlukan waktu lebih lama. Faktor komorbiditas hipertensi dan diabetes turut berkontribusi terhadap keterbatasan peningkatan aktivitas fungsional pasien.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, direkomendasikan durasi intervensi lebih panjang (8-12 minggu) dengan menggunakan desain yang lebih kuat seperti *randomized controlled trial*, serta penambahan instrumen pengukuran objektif seperti

*Arshy Prodyanatasari dkk / Efek Intervensi .....*

spirometri dan uji jalan 6 menit. Penelitian dengan subjek lebih banyak dan bervariasi diperlukan untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi respons terhadap intervensi. Eksplorasi mekanisme fisika secara kuantitatif seperti pengukuran perubahan suhu jaringan dan analisis tahanan jalan napas berdasarkan prinsip Poiseuille juga perlu dilakukan. Selain itu, diperlukan penelitian komparatif antar modalitas fisioterapi, pengembangan protokol terapi standar berbasis fisika, serta evaluasi jangka panjang untuk menilai keberlanjutan efek terapi. Pendekatan interdisipliner yang melibatkan fisioterapis, dokter paru, fisikawan medis, dan ahli gizi direkomendasikan untuk mengembangkan penanganan komprehensif pada pasien SOPT.

### **UCAPAN TERIMAKASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada RS Paru Manguharjo Provinsi Jawa Timur, khususnya Poli Rehabilitasi, yang telah memberikan izin, fasilitas, dan dukungan penuh dalam pelaksanaan penelitian ini. Semoga kerja sama yang baik ini dapat terus berlanjut dan memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu fisioterapi di masa mendatang.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Albin, D. F. A. & Rosfadilla, P., (2025). Laporan Kasus: Koeksistensi Tuberkulosis Paru dan Penyakit Paru Obstruktif Kronik. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*, pp. 3(1), 1-8. Diakses pada: <https://ejournal.penerbitjurnal.com/index.php/JIMA/article/view/1390>.
- Auliya, T. K., (2023). Penatalaksanaan Fisioterapi dengan Modalitas Infrared dan Chest Physiotherapy pada Sindroma Obstruksi Pasca Tuberkulosis (SPOT) (Doctoral dissertation, Universitas Widya Husada Semarang)..
- Fonseca, I. M. P. P. et al., (2025). Effect of home-based pulmonary rehabilitation on ventilation dynamics and small airway dysfunction in people with post-tuberculosis lung disease. *Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases*, pp. 40, 100542. Diakses pada: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405579425000336>.
- Hussain, A. et al., (2024). Effect of pulmonary rehabilitation in patients with post-tuberculosis sequelae with functional limitation. *Indian Journal of Tuberculosis*, pp. 71(2), 123-129. Diakses pada: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019570723000690>.
- Khoeriyanto, A., (2023). *Penatalaksanaan Fisioterapi pada Kasus Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) di RSUD Bagas Waras Klaten (Doctoral dissertation, Universitas Widya Dharma)*, s.l.: s.n.
- Mustofa, S. et al., (2023). Laporan Kasus: Bronkiektasis Terinfeksi disertai Sindroma Obstruksi. *Jurnal Majority*, pp. 12(1), 33-42. Diakses pada:

- [https://www.researchgate.net/profile/Syazili-Mustofa/publication/393360960\\_Laporan\\_Kasus\\_Bronkiektasis\\_Terinfeksi\\_disertai\\_Sindroma\\_Obstruksi\\_Pasca\\_Tuberkulosis/links/68667a1439c358351206a426/Laporan-Kasus-Bronkiektasis-Terinf](https://www.researchgate.net/profile/Syazili-Mustofa/publication/393360960_Laporan_Kasus_Bronkiektasis_Terinfeksi_disertai_Sindroma_Obstruksi_Pasca_Tuberkulosis/links/68667a1439c358351206a426/Laporan-Kasus-Bronkiektasis-Terinf).
- Nurhandrita, Z. P., Widodo, A. & Prayitno, P., (2024). *Management Fisioterapi pada Kasus Sindrom Obstruksi Pasca Tuberculosis (SOPT): Studi Kasus*. s.l., s.n., pp. 423-435.
- Nurmalasari, R. & Apriantoro, N. H., (2020). Pemeriksaan Radiografi Thorax dengan Kasus Tuberculosis Paru. *Kocenin Serial Konferensi*, pp. (1), 1-6. Diakses pada: <https://publikasi.kocenin.com/index.php/pakar/article/view/25>.
- Orooj, M. et al., (2025). Long-term Effect of Pulmonary Rehabilitation in Pulmonary Tuberculosis Patients. *Thoracic Research and Practice*, pp. 26(6), 323. Diakses pada: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12572911/>.
- Prodyanatasari, A., (2015). Optimalisasi Energi Gelombang Elektromagnetik Melalui Terapi Infrared pada Penderita Penyakit Paru Obstruktif Kronik. *Jurnal Wiyata: Penelitian Sains dan Kesehatan*, pp. 2(1), 59-66. Diakses pada: <https://www.ojs.iik.ac.id/index.php/wiyata/article/view/38>.
- review, P. t. l. d. a. t. s. A. n., (2024). Gordon Cupido; Gunar Günther. *Indian Journal of Tuberculosis*, pp. 71(1), 64-72. Diakses pada: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019570723000586>.
- Rianti, E. D. D., (2013). Utilization of infrared radiation to human health. *Jurnal Ilmiah Kedokteran Wijaya Kusuma*, pp. 2(1), 1-12. Diakses pada: <https://journal.uwks.ac.id/jikw/article/view/27>.
- Sehgal, I. S. et al., (2024). Burden, clinical features, and outcomes of post-tuberculosis chronic obstructive lung diseases. *Current opinion in pulmonary medicine*, pp. 30(2), 156-166. Diakses pada: [https://journals.lww.com/copulmonarymedicine/abstract/2024/03000/burden,\\_clinical\\_features,\\_and\\_outcomes\\_of](https://journals.lww.com/copulmonarymedicine/abstract/2024/03000/burden,_clinical_features,_and_outcomes_of).8.aspx.
- Sinha, S. et al., (2025). Effectiveness of pulmonary rehabilitation on functional exercise capacity & health related quality of life (HRQOL) among individuals with post tuberculosis lung disease: A multicentric pre & post-interventional study. *The Indian Journal of Medical Research*, pp. 161(5), 540. Diakses pada: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12550408/>.
- Syahputra, B. A. & Purnomo, D., (2026). Penatalaksanaan Fisioterapi dengan Modalitas Infrared dan Terapi Latihan pada Post Orif Fraktur Femur 1/3 Distal Dextra. *Jurnal Fisioterapi dan Ilmu Kesehatan Sishana*, pp. 8(1), 82-90. Diakses pada: <https://jurnal.stikeskesdam4dip.ac.id/index.php/JUFDIKES/article/view/2024>.
- Triaksony, W., (2021). Penatalaksanaan Fisioterapi pada Kasus Syndrom Obstruction Post Tuberculosis dengan Modalitas Infrared dan *Breathing Exercise* (Doctoral dissertation, Universitas Widya Husada Semarang)