

SKRIPSI

**IDENTIFIKASI BAKTERI *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginosa* PADA SPUTUM PASIEN PENDERITA
TUBERKULOSIS DENGAN METODE MULTIPLEX RT-PCR**



OLEH:

**IZZATI MEIZIZA JUZDA
NIM: 2110262112**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI LABORATORIUM MEDIS
FAKULTAS ILMU KESEHATAN
UNIVERSITAS PERINTIS INDONESIA
PADANG
2025**



a).Tempat/tgl: Labuhan/09 Mei 2003; b).Nama Orang Tua : (Ayah) Junaidi (Ibu) Darfi Afyunini ; c).Program Studi : Sarjana Terapan TLM; d).Fakultas Ilmu Kesehatan; e).No NIM : 2110262112 ;f).Tgl Lulus : 2025; g).Predikat lulus : Pujian ; h).IPK : 3,84 ; i).Lama Studi : 4 Tahun; j). Alamat: Mutiara Putih Blok Z No. 5 Balai Gadang, Koto Tengah, Padang

IDENTIFIKASI BAKTERI *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenzae*, *Pseudomonas aeruginosa* PADA SPUTUM PASIEN PENDERITA TUBERKULOSIS DENGAN METODE RT-PCR

SKRIPSI

Oleh: Izzati Meiziza Juzda

Pembimbing: Dr. rer. nat. Ikhwan Resmala Sudji, M.Si⁽¹⁾ Dra. Suraini, M.Si⁽²⁾

ABSTRAK

Tuberkulosis (TB) merupakan penyakit infeksi yang masih menjadi masalah kesehatan utama di Indonesia. Salah satu komplikasi yang sering terjadi adalah infeksi sekunder pada saluran pernapasan oleh bakteri lain, seperti *Haemophilus influenzae*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Enterobacter cloacae*. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi keberadaan ko-infeksi bakteri pneumonia pada pasien TB dengan menggunakan metode Multiplex Real-Time PCR dan kit Crown Lab® Pneumoplex 3.0. Sampel yang digunakan adalah sputum pasien TB yang telah dikonfirmasi secara klinis. Proses ekstraksi DNA diikuti dengan amplifikasi gen target melalui instrumen CFX96 Real-Time PCR. Hasil menunjukkan adanya deteksi beberapa bakteri secara simultan, dengan nilai Ct yang bervariasi. *Haemophilus influenzae* ditemukan sebagai bakteri yang paling sering terdeteksi, diikuti oleh *E. coli* dan *P. aeruginosa*. Metode Multiplex RT-PCR terbukti sensitif dan spesifik, serta memungkinkan pemeriksaan cepat dan efisien untuk deteksi ko-infeksi pada pasien TB. Dengan demikian, pendekatan molekuler ini dapat mendukung diagnosis yang lebih tepat dan terapi yang terarah.

Kata kunci : Tuberkulosis, ko-infeksi, pneumonia, multiplex PCR, Crown Lab Pneumoplex 3.0.

Skripsi ini telah dipertahankan di depan sidang penguji dan dinyatakan LULUS pada 15 Agustus 2025.
Abstrak ini telah disetujui oleh penguji :

Izzati Meiziza Juzda	Dr. rer. nat. Ikhwan Resmala Sudji, M.Si	Dra. Suraini, M.Si	Prof. Dr. Suryani, M.Si

Mengetahui

Ketua Program Studi : Dr. Apt. Dewi Yudiana Shinta, M. Si





a).Place/date: Labuhan/09 Mei 2003; b).Name of Parent : (Father) Junaidi (Mother) Darli Afyunini ; c).Study Program: Applied Bachelor of Medical Laboratory Technology; d).Faculty of Health Sciences; e).No NIM : 2110262112 ; f).Date of Graduation: 2025; g).Graduation Predicate: Honor ; h).GPA : 3,84 ; i).Length of Study: 4 Year ; j). Address: Mutiara Putih Blok Z No. 5 Balai Gadang, Koto Tengah, Padang

IDENTIFICATION OF *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginosa*, IN SPUTUM OF TUBERCULOSIS PATIENTS USING THE REAL-TIME PCR METHOD

THESIS

By : Izzati Meiziza Juzda

Mentor :Dr.rer.nat. Ikhwan Resmala Sudji, M.Si⁽¹⁾Dra.Suraini, M.Si⁽²⁾

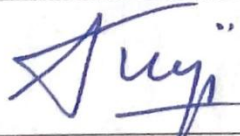
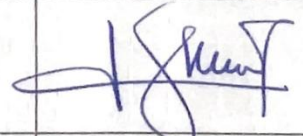

ABSTRACT

Tuberculosis (TB) remains a major public health concern in Indonesia. One of the frequent complications is secondary respiratory infection caused by other bacteria, such as *Haemophilus influenzae*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Enterobacter cloacae*. This study aimed to detect co-infecting pneumonia bacteria in TB patients using the Multiplex Real-Time PCR method with the Crown Lab® Pneumoplex 3.0 kit. Sputum samples were collected from clinically confirmed TB patients. DNA extraction was followed by amplification of target genes using a CFX96 Real-Time PCR instrument. The results showed simultaneous detection of multiple bacteria with varied Ct values. *Haemophilus influenzae* was the most frequently detected pathogen, followed by *E. coli* and *P. aeruginosa*. The Multiplex RT-PCR method proved to be sensitive and specific, enabling rapid and efficient detection of co-infection in TB patients. Therefore, this molecular approach supports more accurate diagnosis and targeted therapy.

Keywords : Tuberculosis, ko-infeksi, pneumonia, multiplex PCR, Crown Lab Pneumoplex 3.0.

This thesis has been defended in front of examiner and declared PASSED on 15August 2025.

This abstract has been approved by the examiner :

			
Izzati Meiziza Juzda	Dr.rer.nat. Ikhwan Resmala Sudji, M.Si	Dra. Suraini, M.Si	Prof.Dr. Suryani, M.Si

Knowing

Head of Study Program : Dr. Apt. Dewi Yudiana Shinta, M. Si



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tuberkulosis (TB) merupakan penyakit yang disebabkan oleh bakteri patogen yaitu *Mycobacterium tuberculosis*. *Mycobacterium tuberculosis* merupakan agen utama penularan tuberkulosis yang bertanggung jawab atas kematian setiap tahunnya di dunia. *Mycobacterium tuberculosis* adalah bakteri patogen intraseluler Gram positif yang menginfeksi paru-paru manusia melalui aerosol (Tamunu et al., 2022). Tuberkulosis saat ini masih merupakan penyakit yang berperan sebagai penyebab morbiditas dan mortalitas, dan tingginya prevalensi penderita tiap tahunnya (Kartasasmita, 2016).

Menurut *World Health Organization* (WHO tb report, 2024) Pada tahun 2022, tercatat sebanyak 7,5 juta orang baru didiagnosis dengan TBC secara global. Tiga puluh negara dengan beban TBC tinggi menyumbang 87% dari total kasus TBC di dunia. Delapan negara yang paling terdampak, yaitu India (27%), Indonesia (10%), Cina (7,1%), Filipina (7,0%), Pakistan (5,7%), Nigeria (4,5%), Bangladesh (3,6%), dan Republik Demokratik Kongo (3,0%), menyumbang dua pertiga dari total kasus TBC global (Bagcchi, 2023). Data ini menunjukkan bahwa beban TBC tidak merata dan terkonsentrasi di negara-negara tertentu, yang memerlukan perhatian dan intervensi yang lebih besar. Di Indonesia Tuberkulosis (TB) masih menjadi masalah kesehatan masyarakat. Berdasarkan Global TB 2023, Indonesia masih menduduki peringkat kedua sebagai Negara dengan kasus TBC terbanyak di dunia setelah India, diikuti oleh Cina.

Menurut (Kemenkes, 2020) jumlah kasus tuberkulosis di Indonesia diperkirakan sebanyak 1.060.000 kasus Tuberkulosis dan 134.000 kematian akibat Tuberkulosis per tahun di Indonesia atau setidaknya terdapat 17 orang meninggal akibat tuberkulosis setiap jamnya. Adapun peraturan pemerintah tentang upaya penanggulangan tuberkulosis, menerbitkan

Peraturan Presiden No.67 Tahun 2021 tentang upaya penanggulangan Tuberkulosis. Adapun beberapa upaya adalah peningkatan akses layanan TBC bermutu pada pasien, pemanfaatan hasil riset dan teknologi skrining, diagnosis, serta tatalaksana Tuberkulosis

Upaya dalam mendiagnosis Tuberkulosis adalah dengan adanya Pemeriksaan metode *Nucleic Acid Amplification Technology* (NAAT), khususnya pada uji Amplifikasi Asam Nukleat Berbasis Kartrid (CB-NAAT), semakin banyak digunakan pada pemeriksaan guna mendiagnosis Tuberkulosis karena hasilnya yang cepat dan akurat. TCM (Tes Cepat Molekuler) adalah contoh dari teknologi ini yang memberikan keuntungan yang signifikan dalam mendeteksi Tuberkulosis (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

Pemeriksaan TCM menggunakan *GeneXpert* merupakan satu satunya pemeriksaan molekuler yang meliputi seluruh elemen reaksi yang dibutuhkan termasuk seluruh reagen yang dibutuhkan untuk prosedur PCR (*Polymerase Chain Reaction*) dalam satu kartrid. Pemeriksaan molekuler *GeneXpert* merupakan pemeriksaan yang menggunakan teknologi *Nucleic Acid Amplification Technology* (NAAT) untuk diagnosis TB dalam waktu yang singkat (Siahaan et al., 2022). Pemeriksaan Tuberkulosis menggunakan metode *Nucleic Acid Amplification Technology* (NAAT) merupakan salah satu upaya penangan Tuberkulosis yaitu dengan meningkatkan kemampuan diagnos Tuberkulosis. Ada beberapa metode untuk mendeteksi Tuberkulosis yaitu dengan pemeriksaan mikroskopis BTA (Basil Tahan Asam) metode Zheil Nelseen (ZN) dan metode Tes Cepat Molekuler (TCM). Pemeriksaan makroskopik BTA pada sputum penderita, dapat menggunakan metode pewarnaan *Tan thian hok*, *Zhiel nelseen* atau *fluorukom*. Jika terdapat keberadaan BTA dalam sputum merupakan *prsesum test*. Adapun metode cepat yang mampu menggantikan biakan kultur yaiu dengan metode Test Cepat Molekuler (TCM) (Hermansyah et al., 2022).

Pada pasien penderita Tuberkulosis tidak hanya di temukan bakteri *mycobacterium tuberculosis* namun juga bakteri lainnya seperti *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*,

Haemophilus influenza, *pseudomonas aeruginosa* keberadaan bakteri ini mempengaruhi kondisi pasien. Kelompok bakteri yang di temukan pada kasus pneumonia *community acquired pneumonia* (CAP) yaitu *Haemophilus influenza*, *staphylococcus aureus*, *legionella pneumophila*, dan *moraxella catarrhalis* (Patty et al., 2016). *Hospital acquired pneumonia* (HAP) banyak di sebabkan oleh bakteri gram-negatif seperti *klebsiella sp*, *Escherichia coli*, *pseudomonas aeruginosa*, *acinetobacter baumannii*, dan *haemophilus influenza* dan bakteri gram-positif penyebab *Hospital acquired pneumonia* (HAP) adalah *staphylococcus aureus* dan *haemophilus influenza* (Cilloniz et al., 2016). Maka dari itu penting mendiagnosis keberadaan bakteri selain *mycobacterium tuberculosis* pada pasien penderita Tuberkulosis agar pasien dapat penanganan yang tepat.

Di Indonesia penderita Tuberkulosis hanya melakukan pemeriksaan atau deteksi *mycobacterium tuberculosis* tidak untuk bakteri lainnya, kondisi ini mungkin yang membuat proses penyembuhan tidak terlalu berlangsung sesuai harapan. Oleh karena itu dengan perkembangan teknologi *Nucleic Acid Amplification Test* (NAAT) tidak hanya digunakan untuk pemeriksaan TB, metode *Nucleic Acid Amplification Test* (NAAT) pada teknik Multiplex RT-PCR dapat melakukan pemeriksaan untuk mendeteksi beberapa bakteri target dalam satu reaksi maka memungkinkan untuk mendeteksi bakteri pneumonia pada sampel sputum pasien Tuberkulosis. Dalam penelitian yang dilakukan (Hattoufi et al., 2020), Multiplex RT-PCR telah terbukti efektif dalam mendeteksi berbagai bakteri penyebab pneumonia. Misalnya, metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi *Klebsiella pneumoniae*, yang merupakan salah satu penyebab utama infeksi saluran pernafasan dan dapat menyebabkan pneumonia berat. Adapun pasien yang terdeteksi positif Tuberkulosis belum diketahui memiliki peradangan paru paru lain seperti pneumonia.

Penelitian ini akan mendeteksi bakteri *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginosa* dengan metode multiplex RT-PCR

sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi bakteri Pneumonia *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginosa* pada sampel sputum pasien Tuberkulosis dengan metode Multiplex RT-PCR.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah pada penelitian ini adalah “apakah ada atau tidaknya bakteri *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginosa* pada sampel sputum pasien penderita Tuberkulosis dengan metode Multiplex RT-PCR?”

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Untuk mendeteksi bakteri *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginosa* pada sampel sputum pasien Tuberkulosis dengan metode Multiplex RT-PCR.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Untuk mendeteksi bakteri *Escherichia coli* pada sputum pasien Tuberkulosis dengan metode Multiplex RT-PCR.
2. Untuk mendeteksi bakteri *Enterobacter cloacae* pada sputum pasien Tuberkulosis dengan metode Multiplex RT-PCR.
3. Untuk mendeteksi bakteri *Haemophilus influenza* pada sputum pasien Tuberkulosis dengan metode Multiplex RT-PCR.
4. Untuk mendeteksi bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada sputum pasien Tuberkulosis dengan metode Multiplex RT-PCR.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Bagi Peneliti

Untuk menambah ilmu pengetahuan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan terkhususnya pada mata kuliah biologi molekuler dalam mengidentifikasi bakteri *Escherichia*

coli, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginosa* pada sampel sputum pasien penderita Tuberkulosis dengan metode Multiplex RT-PCR.

1.4.2 Bagi Institusi Pendidikan

Sebagai acuan atau tambahan informasi dibidang biologi molekuler bagi institusi pendidikan kesehatan khususnya di Universitas Perintis Indonesia.

1.4.3 Bagi Teknisi Laboratorium

Dapat memberikan informasi dan sumber pengetahuan terbaru terhadap metode untuk mengidentifikasi bakteri Pneumonia *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginosa* pada sampel sputum pasien penderita Tuberkulosis dengan metode Multiplex RT-PCR.

BAB V

PEMBAHASAN

Tuberkulosis (TB) masih menjadi salah satu permasalahan kesehatan utama di dunia, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Berdasarkan WHO (Tuberculosis Report 2024), Indonesia menempati urutan kedua dengan jumlah kasus TB terbanyak setelah India, diikuti oleh Tiongkok. Menurut data (Kementerian Kesehatan RI 2020), terdapat sekitar 1.060.000 kasus TB dengan 134.000 kematian setiap tahunnya, atau setidaknya 17 orang meninggal setiap jam akibat penyakit ini.

Upaya peningkatan diagnosis TB dilakukan melalui penerapan metode Nucleic Acid Amplification Test (NAAT) yang dinilai mampu memberikan hasil cepat dan akurat. Pemerintah juga telah menetapkan Peraturan Presiden Nomor 67 Tahun 2021 tentang Penanggulangan Tuberkulosis, yang mendorong peningkatan mutu layanan diagnosis, skrining, serta tatalaksana TB. Salah satu bentuk implementasinya adalah penggunaan Tes Cepat Molekuler (TCM) berbasis GeneXpert, yang kini banyak digunakan di berbagai rumah sakit dan fasilitas kesehatan (Siahaan et al., 2022).

Pada pasien TB, selain ditemukan *Mycobacterium tuberculosis*, sering dijumpai pula infeksi sekunder oleh bakteri lain seperti *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenzae*, dan *Pseudomonas aeruginosa*. Infeksi sekunder ini dapat terjadi karena penurunan imunitas tubuh pasien, yang menyebabkan kolonisasi bakteri patogen pada saluran pernapasan. Keberadaan bakteri penyerta ini berpotensi memengaruhi tingkat keparahan gejala dan efektivitas terapi anti-TB. Oleh karena itu, pemeriksaan untuk mendeteksi bakteri non-TB pada pasien perlu dilakukan, baik dengan metode kultur maupun metode molekuler seperti NAAT.

Metode kultur memiliki kelemahan, antara lain waktu pemeriksaan yang lama, hasil yang sulit diinterpretasikan pada jumlah sampel kecil, serta keterbatasan dalam mengidentifikasi patogen multipel. Sebaliknya, metode Multiplex RT-PCR menawarkan

keunggulan karena mampu mendeteksi beberapa jenis bakteri sekaligus dalam waktu singkat dengan sensitivitas tinggi.

Dalam penelitian ini digunakan kit Crown_Lab® Pneumoplex 3.0, yang secara spesifik dirancang untuk mendeteksi bakteri penyebab pneumonia, termasuk *E. coli*, *E. cloacae*, *H. influenzae*, dan *P. aeruginosa*, pada sampel sputum pasien TB di Sumatera Barat. Dari empat sampel sputum yang diuji, ditemukan keberadaan bakteri non-TB pada semua sampel dengan variasi jenis yang berbeda.

5.1 Keberadaan bakteri *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas Aeruginose* Pada Sampel Sputum Pasien Positif Tuberkulosis

Kit Crown_Lab® Pneumoplex 3.0 mampu mendeteksi bakteri *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginose* namun keberadaan bakteri tersebut berbeda di setiap sampel. Hasil deteksi keberadaan bakteri *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginose* dapat di lihat pada tabel 5.1

Tabel 5. 1 Bakteri Hasil Deteksi Multiplex RT-PCR

Inisial sampel	bakteri	Keterangan
SY	<i>Escherichia coli</i>	Tunggal
RAN	<i>Haemophilus influenza</i> , <i>Pseudomonas aeruginose</i> <i>Escherichia coli</i>	Deteksi Triple
HAR	<i>Pseudomonas aeruginose</i>	Tunggal
SYA	<i>Haemophilus influenza</i>	Tunggal

Keberadaan bakteri ini telah di buktikan pada penelitian terdahulu. Penelitian yang di lakukan oleh (Regmi et al., 2020) di temukan bahwa sebanyak 47,33% dari 150 pasien tuberculosis menunjukkan pertumbuhan bakteri patogen dalam sputum mereka. Di antara isolat tersebut, *Pseudomonas aeruginose* merupakan salah satu spesies dominan, dengan prevalensi

sebesar 9,33%. Selain itu, *Escherichia coli* juga berhasil di isolasi dari sputum pasien Tuberkulosis, meskipun dengan prevalensi rendah adapun penelitian yang dilakukan oleh (Attia et al., 2019) dari 137 pasien yang menjalani pemeriksaan sputum untuk mendeteksi *Mycobacterium tuberculosis* dan bakteri lainnya, sebanyak 9% dari seluruh pasien atau 13 dari 40 pasien Tuberkulosis mengalami infeksi campuran Tuberkulosis dengan bakteri lain. Penelitian yang dilakukan oleh Mina et al. (2017) di Manila, ditemukan bahwa co-infeksi *Haemophilus influenzae* terjadi pada 21,2% pasien Tuberkulosis paru yang diperiksa menggunakan PCR multipathogen, dan kehadiran bakteri ini dikaitkan dengan peningkatan risiko kematian dini dalam dua minggu pertama (adjusted risk ratio = 1,67; 95 % CI 1,03–2,72).

5.2 Kolerasi Klinis

Dari hasil penelitian di atas diketahui pada sputum penderita Tuberkulosis juga ditemukan bakteri lain, data yang diperoleh memiliki korelasi klinis terhadap bakteri pneumonia. Pada sampel yang positif bakteri *Escherichia coli*, meskipun bakteri ini terkenal sebagai penyebab infeksi saluran kemih namun juga dapat menginfeksi paru-paru terutama pada pasien dengan sistem imun yang lemah. Infeksi paru oleh bakteri *Escherichia coli* sering dikaitkan dengan pneumonia nosokomial dan memiliki tingkat mortalitas yang tinggi pada pasien ICU (Mahon & Lehman, 2023). Infeksi bakteri *Escherichia coli* pada saluran pernapasan bawah disebabkan kemungkinan translokasi bakteri dari saluran gastrointestinal atau kolonisasi sekunder akibat alat bantu napas.

Bakteri *Haemophilus influenza* merupakan strain yang termasuk dalam kelompok non-typeable H. influenza (NTHi), yang umumnya penyebab bronkitis kronis, pneumonia komunitas, dan eksaserbasi penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) (Murray et al., 2025). Pada bakteri *Haemophilus influenza* banyak ditemukan pada pasien lansia, anak, serta pasien imunodefisiensi. Adanya pemeriksaan deteksi Multiplex RT-PCR menunjukkan bahwa

pentingnya pemeriksaan molekuler untuk mendeteksi bakteri yang tidak selalu bisa diidentifikasi dengan metode kultur konvensional.

Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang positif pada sampel memiliki korelasi klinis karena bakteri ini termasuk patogen yang sering ditemukan pada pasien dengan sistem imun yang lemah. Infeksi bakteri ini sering ditemukan pada pasien dengan kondisi fibrosis paru, penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) (Murray et al., 2025). Pada pasien yang menderita PPOK dapat meningkatkan risiko tiga kali lipat untuk terkena penyakit Tuberkulosis begitupun sebaliknya.

5.3 Keunggulan Metode Multiplex RT-PCR Dalam Deteksi Bakteri

Metode Multiplex RT-PCR memiliki keunggulan yaitu mampu mendeteksi bakteri *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Haemophilus influenza*, *Pseudomonas aeruginosa* dalam 1 kali pemeriksaan. Kit yang digunakan pada penelitian ini adalah kit Crown-Lab Pneumoplex 3.0 yang merupakan kit diagnostik molekuler yang dirancang untuk mendeteksi bakteri patogen paru-paru secara spesifik dan sensitif. Kit ini mampu untuk mengenali berbagai jenis patogen spesifik penyebab pneumonia sehingga menjadikannya penting untuk diagnosis pada laboratorium. Dengan adanya metode serta kit dapat mendukung metode deteksi Multiplex RT-PCR yang dapat menghemat waktu, mengurangi kebutuhan uji konvensional satu persatu, dan meningkatkan efisiensi pengobatan terhadap pasien.

Dengan demikian, penggunaan metode Multiplex RT-PCR dengan kit Crown Lab® Pneumoplex 3.0 sangat disarankan untuk diterapkan secara luas, terutama di laboratorium klinik dan rumah sakit di daerah dengan sumber daya terbatas. Kit ini tergolong ekonomis dibandingkan sistem multiplex lainnya, namun tetap memberikan hasil berkualitas tinggi. Dengan biaya yang lebih terjangkau, metode ini menjadi solusi efektif dan efisien dalam mendeteksi ko-infeksi bakteri pada pasien Tuberkulosis maupun infeksi respiratori lainnya.