

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. *Escherichia coli*

a. Deskripsi

Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri yang hidup di usus manusia, bakteri ini hidup sebagai flora normal atau kumpulan mikroorganisme, yang secara alami terdapat pada tubuh manusia yang normal dan sehat (Hainil dkk., 2021). Beberapa strain bakteri ini dapat menyebabkan berbagai penyakit diare, termasuk diare perjalanan dan disentri. Selain itu, *Escherichia coli* juga dapat menyebabkan penyakit ekstraintestinal, seperti pneumonia, bakteremia, dan infeksi perut seperti peritonitis bakterial spontan (Mueller dkk., 2023).

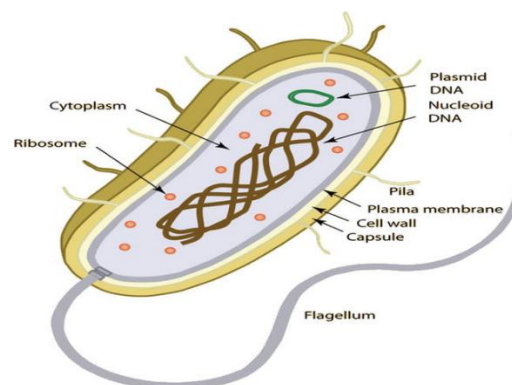
b. Klasifikasi

Nomenklatur binomial dari *Escherichia coli* adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Prokaryotae
Divisi	: Gracilicutes
Kelas	: Scotobacteria
Ordo	: Enterobacteriales
Famili	: Enterobacteriaceae
Genus	: <i>Escherichia</i>
Spesies	: <i>Escherichia coli</i> (Jawetz dkk., 2007; Umaruddin dkk., 2020).

c. Morfologi

Escherichia coli adalah bakteri Gram negatif kecil berbentuk batang, dengan koloni berbentuk bulat, cembung, dan halus dengan tepian yang rata serta memfermentasi laktosa. *Escherichia coli* berukuran 2 μm , diameter 0,7 μm , lebar 0,4 - 0,7 μm dan anaerob fakultatif (Umaruddin dkk., 2020). Bakteri *Escherichia coli* dapat tumbuh pada suhu berkisar antara 10°C hingga 40°C, meskipun suhu optimum untuk sebagian besar strain adalah 37°C. Bakteri *Escherichia coli* dapat bertahan hidup pada pH 4,5–9,5, tetapi pertumbuhan maksimum pada pH 7,0, yaitu pH netral (Basavaraju dan Gunashree, 2021).



Gambar 1. Struktur Bakteri *Escherichia coli*
Sumber: Basavaraju dan Gunashree, 2022.

d. Patogenitas

Menurut Umarudin dkk. (2020) berdasarkan patogenitasnya, bakteri *Escherichia coli* dibedakan menjadi lima jenis, yaitu:

1) Enterotoksigenik *Escherichia coli* (ETEC)

Enterotoksigenik *Escherichia coli* patogenik menghasilkan dua jenis toksin utama. Enterotoksin termotabil (ST) dan labil (LT). Toksin ST dapat meningkatkan sekresi udara dan elektrolit dalam usus, yang dapat menyebabkan diare. Toksin LT mirip dengan toksin kholera dan juga dapat menyebabkan diare berair.

2) Enterohemoragik *Escherichia coli* (EHEC)

Enterohemoragik *Escherichia coli* menghasilkan toksin Shiga yang sangat beracun. Toksin Shiga dapat menyebabkan diare berdarah, muntah, dan sindrom hemolitik-uremik (HUS) yang disebabkan kerusakan pada sel endotelial di saluran pencernaan.

3) Enteraggregative *Escherichia coli* (EAEC)

Subjenis bakteri *Escherichia coli* yang memiliki bentuk khas dalam membentuk agregat atau gumpalan pada permukaan sel epitel usus. EAEC dapat memicu berbagai penyakit pada manusia, terutama di saluran pencernaan.

4) Enteropatogenik *Escherichia coli* (EPEC)

Salah satu subjenis patogenik dari bakteri *Escherichia coli* yang menginfeksi pada saluran pencernaan manusia, terutama pada anak-anak dan bayi. Diare akut dapat terjadi akibat infeksi EPEC pada usus halus.

5) Enteroinvasif *Escherichia coli* (EIEC)

Subjenis patogenik dari bakteri *Escherichia coli* yang dapat menginfeksi pada saluran pencernaan manusia. EIEC mirip dengan *Shigella*, yang juga merupakan patogen yang menyebabkan penyakit Shigellosis atau disentri.

e. Identifikasi Bakteri

1) Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram adalah teknik pewarnaan yang digunakan untuk mengklasifikasikan spesies bakteri menjadi dua kelompok utama yaitu Gram positif dan Gram negatif. Bakteri Gram positif mempertahankan pewarna kristal violet sedangkan bakteri Gram negatif tidak. Bakteri *Escherichia coli* dikategorikan sebagai bakteri Gram negatif karena tidak mampu mempertahankan kompleks warna Kristal Violet. Hilangnya kompleks warna ini terjadi karena terlarutnya lipid pada lapisan luar peptidoglikan dinding sel oleh alkohol. Dinding sel bakteri yang telah kehilangan warna kemudian akan mengikat zat warna tandingan, yaitu safranin, sehingga koloni tampak berwarna merah (Afrianti dkk., 2017).



Gambar 2. Pewarnaan bakteri *Escherichia coli*
Sumber: Khakim dkk., 2022.

2) Uji Biokimia

Identifikasi bakteri *Escherichia coli* dilakukan dengan menginokulasi koloni bakteri pada media media IMViC (Indol, *Methyl Red*, *Voges-Proskauer*, dan Citrat), SIM (*Sulfide Indol Motility*), media TSIA (*Triple Sugar Iron Agar*) dan media gula-gula (laktosa, maltosa, sukrosa, glukosa, dan manitol). Media uji diinkubasikan pada suhu 37° C selama 24 jam (Khakim dkk., 2022).

Tabel 1. Hasil Uji Biokimia Bakteri *Escherichia coli*

Nama Uji / Media	Hasil
TSIA	A/A gas (+)
Indol	(+) Terbentuk cincin merah muda
<i>Methyl red</i>	(+) Menjadi merah
<i>Voges-proskauer</i>	(-) Tidak berubah warna
Citrat	(-) Tidak berubah warna
Glukosa	(+) Menjadi kuning, terbentuk gas
Sukrosa	(+) Menjadi kuning, terbentuk gas
Laktosa	(+) Menjadi kuning, terbentuk gas
Maltosa	(+) Menjadi kuning, terbentuk gas
Manitol	(+) Menjadi kuning, terbentuk gas

Sumber: Yurdhiika dkk., 2023.

2. Pertumbuhan Bakteri

Menurut Susilo (2023), fase-fase pertumbuhan mikroorganisme sebagai berikut:

a. Fase lag

Fase ini laju pertumbuhan dalam tahap masa persiapan. Pada fase ini bakteri mensintesa enzim untuk mencapai konsentrasi yang cukup untuk melaksanakan pertumbuhan ekponensial. Fase ini berlangsung beberapa jam hingga beberapa hari, tergantung dari jenis mikroorganisme serta lingkungan yang hidup.

b. Fase log

Fase ini setiap sel mikroba akan membelah diri. Tahap ini disebut sebagai fase pertumbuhan. Pada fase ini terjadi kenaikan jumlah populasi sel mikroorganisme ini mencapai masa akhir fase pertumbuhan mikroorganisme. Setelah setiap individu menyesuaikan diri dengan lingkungan baru selama fase lag, maka akan meningkatkan jumlah individu sel sehingga kurva meningkat dengan tajam (menanjak).

c. Fase stasioner

Fase ini ditandai oleh keseimbangan antara pertumbuhan dan kematian bakteri, sehingga kecepatan pertumbuhan mulai berkurang. Pengurangan sumber nutrisi serta faktor – faktor yang terkandung di dalam jasadnya sendiri, sehingga selama fase ini, gambaran grafik seakan mendatar. Populasi jasad hidup di dalam keadaan yang maksimal stasioner yang konstan.

d. Fase kematian

Fase ini dimulai setelah jumlah mikroorganisme mencapai kondisi stabil. Tahap tersebut dikenal sebagai fase kematian dipercepat, yaitu periode ketika jumlah sel menurun karena banyak sel mikroorganisme yang mati. Pada fase ini, kurva pertumbuhan mencapai bagian akhirnya, ditandai dengan penurunan jumlah individu secara tajam sehingga grafik tampak kembali mendekati titik awal.

3. Media Pertumbuhan Bakteri

a. Definisi

Media pertumbuhan mikroorganisme adalah suatu bahan yang terdiri atas campuran nutrisi yang digunakan oleh suatu mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang biak. Nutrisi pada media berupa molekul-molekul kecil yang dirakit oleh mikroorganisme untuk menyusun komponen selnya. Setiap mikroorganisme membutuhkan material nutrisi yang berbeda. Media pertumbuhan bervariasi dalam bentuk dan komposisi, tergantung pada jenis spesies yang dikembangkan (Atmanto dkk., 2022).

b. Nutrisi Kebutuhan Bakteri

Pertumbuhan mikroorganisme penting untuk memahami kebutuhan dasarnya. Kebutuhan nutrisi bakteri meliputi:

1) Air

Air berperan penting dalam melarutkan nutrisi, mengangkut, serta memastikan terjadinya reaksi hidrolisis. Beberapa bakteri memerlukan air bebas untuk pertumbuhan mereka. Jika terjadi penguapan selama inkubasi, air dapat menguap, yang menyebabkan koloni berkurang ukurannya dan pertumbuhan bakteri terhambat (Bonnet dkk., 2020).

2) Sumber karbon

Karbon adalah unsur penyusun utama pada bakteri, yang berperan sebagai sumber energi sekaligus bahan pembentuk sekitar

50 persen massa sel mikroba. Karbon esensial bagi bakteri untuk memproduksi molekul seperti lemak, karbohidrat, protein, dan asam nukleat. Bakteri dapat memanfaatkan sumber karbon anorganik, misalnya karbon dioksida, maupun sumber organik seperti gula dan alkohol (Bonnet dkk., 2020).

3) Nitrogen

Proses sintesis protein dan asam amino membutuhkan nitrogen. dan senyawa nitrogen lainnya. Mikroorganisme autotrof memanfaatkan nitrogen dalam bentuk anorganik, sedangkan mikroorganisme heterotrof mendapatkannya dari sumber organik seperti protein, peptida, atau ekstrak daging (Sari dkk., 2025).

4) Energi

Berdasarkan energinya ada dua jenis bakteri, yaitu bakteri fototrofik yang menggunakan cahaya sebagai sumber energi dengan mengubahnya menjadi gelombang elektrokimia proton dan bakteri kemotrofik, yang menggunakan energi oksidasi senyawa mineral atau organik sebagai sumber energi (Bonnet dkk., 2020).

c. Faktor Pertumbuhan Bakteri

Faktor pertumbuhan adalah komponen esensial yang tidak dapat disintesis oleh mikroorganisme dan harus disediakan melalui media. Faktor ini meliputi asam amino, vitamin, atau senyawa organik lainnya yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme tertentu. Media seperti *nutrient broth* atau *blood agar* sering digunakan

untuk memenuhi kebutuhan ini, terutama bagi mikroorganisme patogen (Sari dkk., 2025).

d. Jenis Media

1) Berdasarkan bentuk

a) Media cair

Media cair yang paling umum digunakan *Nutrient Broth* (NB) dan *Lactose Broth* (LB). Semua komponen yang diperlukan untuk media pertumbuhan dilarutkan dalam aquades. Proses kultur bakteri dengan media kaldu dilakukan dalam tabung reaksi, pertumbuhan mikroba akan membuat media menjadi keruh. Kelemahan media ini adalah tidak dapat diidentifikasi secara langsung berdasarkan morfologinya, sedangkan keuntungannya adalah dapat menyediakan nutrisi yang lebih baik bagi bakteri (Atmanto dkk., 2022).

b) Media padat

Media padat adalah media cair yang ditambahkan dengan bahan pengeras seperti agar. Media padat memungkinkan untuk melihat perbedaan spesies bakteri melalui koloni yang terbentuk. Namun, kelemahan media padat adalah akses nutrisi lebih terbatas. Media dengan kandungan gel tinggi seperti agar akan membentuk koloni yang lebih kecil daripada media dengan kandungan gel lebih rendah karena

aliran nutrisi yang berkurang dan penghilangan toksin (Atmanto dkk., 2022).

c) Media semi padat

Media semi-padat adalah media kultur mikroorganisme yang memiliki konsistensi di antara media cair dan media padat. Media ini mengandung bahan pematat dalam konsentrasi yang lebih rendah, biasanya sekitar 0,3%–0,5% agar. Konsentrasi ini memberikan tekstur kental tetapi tidak sepenuhnya solid, sehingga memungkinkan pergerakan mikroorganisme dalam media (Sari dkk., 2025).

2) Berdasarkan komposisi

Media pertumbuhan mikroba dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama berdasarkan komposisinya, yaitu media alami, media semi-sintesis, dan media sintesis. Berikut pembagian 3 media berdasarkan komposisi menurut Sari dkk. (2025).

a) Media alami

Media alami disusun dari bahan-bahan alami yang komposisinya tidak dapat diketahui secara pasti. Bahan-bahan dasar seperti kentang, tepung, daging, telur, ikan, atau sayuran diekstrak untuk menghasilkan media tersebut secara langsung. Mikroorganisme dapat tumbuh dalam media alami tanpa memerlukan formulasi kimia tertentu.

b) Media semi sintesis

Media yang menggabungkan bahan-bahan alami dengan bahan sintetis dikenal sebagai media semi-sintesis. Meskipun komposisi pasti bahan-bahan alami seperti ekstrak daging sapi atau kentang tidak diketahui, komposisi kimiawi dari beberapa komponen dalam media ini telah diketahui. Karena lebih cepat diproduksi dan memiliki cakupan aplikasi yang lebih luas dibandingkan media sintetis, media semi-sintetis sering digunakan di laboratorium.

c) Media sintesis

Media sintesis, atau dikenal juga sebagai media kimiawi terdefinisi, disusun sepenuhnya dari senyawa kimia dengan jenis dan takaran yang diketahui secara presisi. Media ini digunakan untuk penelitian yang membutuhkan kontrol ketat terhadap kondisi pertumbuhan mikroorganisme, seperti eksperimen metabolisme atau analisis biokimia.

3) Berdasarkan fungsi

a) Media umum

Media ini digunakan untuk mendukung pertumbuhan berbagai jenis mikroorganisme. Media ini mengandung sumber karbon, energi (seperti glukosa), garam, asam amino, dan vitamin. Media ini juga sering dibuat dari bahan baku

kompleks, seperti pepton, ekstrak daging, atau ekstrak ragi (Sari dkk., 2025).

b) Media selektif

Media selektif adalah media yang digunakan pertumbuhan organisme tertentu dengan mencegah, menghambat, atau menghalangi pertumbuhan organisme lain, sehingga memudahkan isolasi mikroba. Selektivitas ini dicapai dengan beberapa cara. Seperti, mikroorganisme yang mampu untuk memanfaatkan gula tertentu dapat dipisahkan dengan menjadikan gula tersebut sebagai satu-satunya sumber karbon dalam media pertumbuhan. Selain itu, penghambatan selektif terhadap beberapa jenis mikroorganisme dapat dilakukan dengan menambahkan pewarna, antibiotik, garam, atau zat penghambat spesifik yang akan memengaruhi metabolisme atau sistem enzim organisme tersebut (Saxena, 2020).

c) Media diferensial

Media diferensial adalah media yang menyebabkan koloni tertentu berkembang secara berbeda dari organisme lain yang terkait erat, melalui perubahan karakteristik pada pertumbuhan bakteri atau medium di sekitar koloni. Media ini digunakan untuk membedakan kelompok mikroorganisme yang memiliki kesamaan morfologi atau biokimia. Indikator pH seperti fenol merah, eosin, atau methlin biru ditambahkan ke

dalam media sehingga organisme dapat menimbulkan perubahan karakteristik atau pola pertumbuhan yang dapat digunakan untuk identifikasi atau pembedaan. Berbeda dengan media selektif, media diferensial tidak membunuh organisme, melainkan memberikan indikasi keberadaan organisme target (Saxena, 2020).

d) Media selektif diferensial

Media ini memiliki dua fungsi, yaitu selektif untuk mikroorganisme tertentu dan diferensial untuk membedakan karakteristik tertentu. Contohnya adalah *MacConkey agar*, yang selektif untuk bakteri Gram-negatif serta diferensial untuk fermentasi laktosa, serta *Mannitol Salt Agar*, yang membedakan bakteri yang mampu memfermentasi manito (Sari dkk., 2025).

e) Media diperkaya

Media yang ditambahkan bahan-bahan tertentu untuk menstimulasi pertumbuhan mikroba yang diinginkan dikenal media diperkaya (*enrichment*). Tujuan media diperkaya untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme tertentu. Media tersebut memiliki nutrisi yang mendorong pertumbuhan mikroba tertentu seperti kaldu selenit atau kaldu tetrationsat untuk bakteri *Salmonella typhi* (Atmanto dkk., 2022).

4) Komposisi Media Pertumbuhan Bakteri

Komposisi media pertumbuhan dikembangkan sesuai dengan kemampuan bakteri lain untuk menggunakan unsur-unsur ini. Beberapa komposisi yang diperlukan dan sumbernya.

Tabel 2. Komposisi Media Pertumbuhan dan Alternatif

Komposisi	Bahan
Amino-nitrogen	Peptone, hidrolisat protein, ekstrak, dan infus
Faktor pertumbuhan	Darah, serum, ekstrak ragi, atau vitamin, NAD (nikotinamida adenin dinukleotida)
Sumber energi	Gula, alkohol, dan karbohidrat
Buffer garam	Fosfat, asetat, dan sitrat
Garam mineral dan logam	Fosfat, sulfat, magnesium, kalsium, besi
Agen selektif	Bahan kimia, antimikroba, dan pewarna
Pewarna indikator	<i>Neutral red</i> , <i>phenol red</i>
Agen pengental	Agar, gelatin, alginat, gel silika

Sumber: Adi dkk., 2022.

4. Media *MacConkey Agar* (MCA)

a. Definisi

MacConkey Agar (MCA) adalah media kultur bakteri yang secara selektif mendukung pertumbuhan spesies bakteri Gram negatif dan dapat membedakan mikroorganisme berdasarkan status fermentasi laktosa. Sifat selektif dan diferensial MCA digunakan untuk identifikasi bakteri konvensional pada sebagian besar spesimen bakteri di laboratorium mikrobiologi klinis (Kim dkk., 2023). MCA adalah medium selektif yang efektif terhadap bakteri Gram-positif dan

sebagian besar jamur serta ragi. Sifat selektif media ini disebabkan oleh kandungan kristal violet dan garam empedu (Supriatin dkk., 2021).

Media *MacConkey Agar* termasuk salah satu media isolasi primer. MCA merupakan medium selektif diferensial yang mengandung zat warna khusus dan karbohidrat untuk membedakan koloni yang memfermentasikan laktosa (berwarna merah muda) dengan koloni bakteri yang tidak memfermentasikan laktosa (tidak atau pucat berwarna), ukuran dan bentuk koloni bervariasi tergantung spesies. Kelompok laktosa fermenter seperti anggota genus *Klebsiella*, *Enterobacter*, dan *Escherichia coli* menghasilkan koloni berwarna merah muda pada media isolasi primer, sedangkan Kelompok laktosa bukan fermenter menghasilkan koloni berwarna pucat atau tidak berwarna (Sari, 2019).

b. Komposisi Media

Media *MacConkey Agar* (MCA) memiliki kandungan kristal violet, pepton, garam empedu, laktosa, natrium klorida, dan indikator *neutral red*. Kristal violet dan garam empedu berfungsi untuk menghambat pertumbuhan bakteri Gram positif. Pepton dan natrium klorida berfungsi sebagai media nutrisi bagi bakteri, laktosa digunakan untuk aktivitas fermentasi bakteri, dan *neutral red* digunakan sebagai indikator perubahan warna.

5. Indikator pH

a. *Neutral Red*

Neutral red adalah pewarna kationik tipe amin yang berubah warna karena perubahan keadaan protonasi gugus amina. *Neutral red* adalah indikator pH utama pada *MacConkey Agar* (MCA) yang berperan penting dalam membedakan bakteri fermenter dan tidak fermenter laktosa melalui perubahan warna koloni. Kombinasi *neutral red* dengan komponen selektif lain seperti garam empedu dan kristal violet, meningkatkan kemampuan MCA untuk menyeleksi bakteri Gram positif dan membedakan spesies berdasarkan warna koloni. *Neutral red* adalah pewarna kationik yang berubah warna sesuai pH. Pada $\text{pH} < 6,8$ (lingkungan asam akibat fermentasi laktosa), *neutral red* berubah menjadi merah. Pada pH netral, warnanya kuning pucat (Toruan dkk., 2023).



Gambar 3. Bakteri *E. coli* pada MCA
Sumber: Candra dkk., 2023.

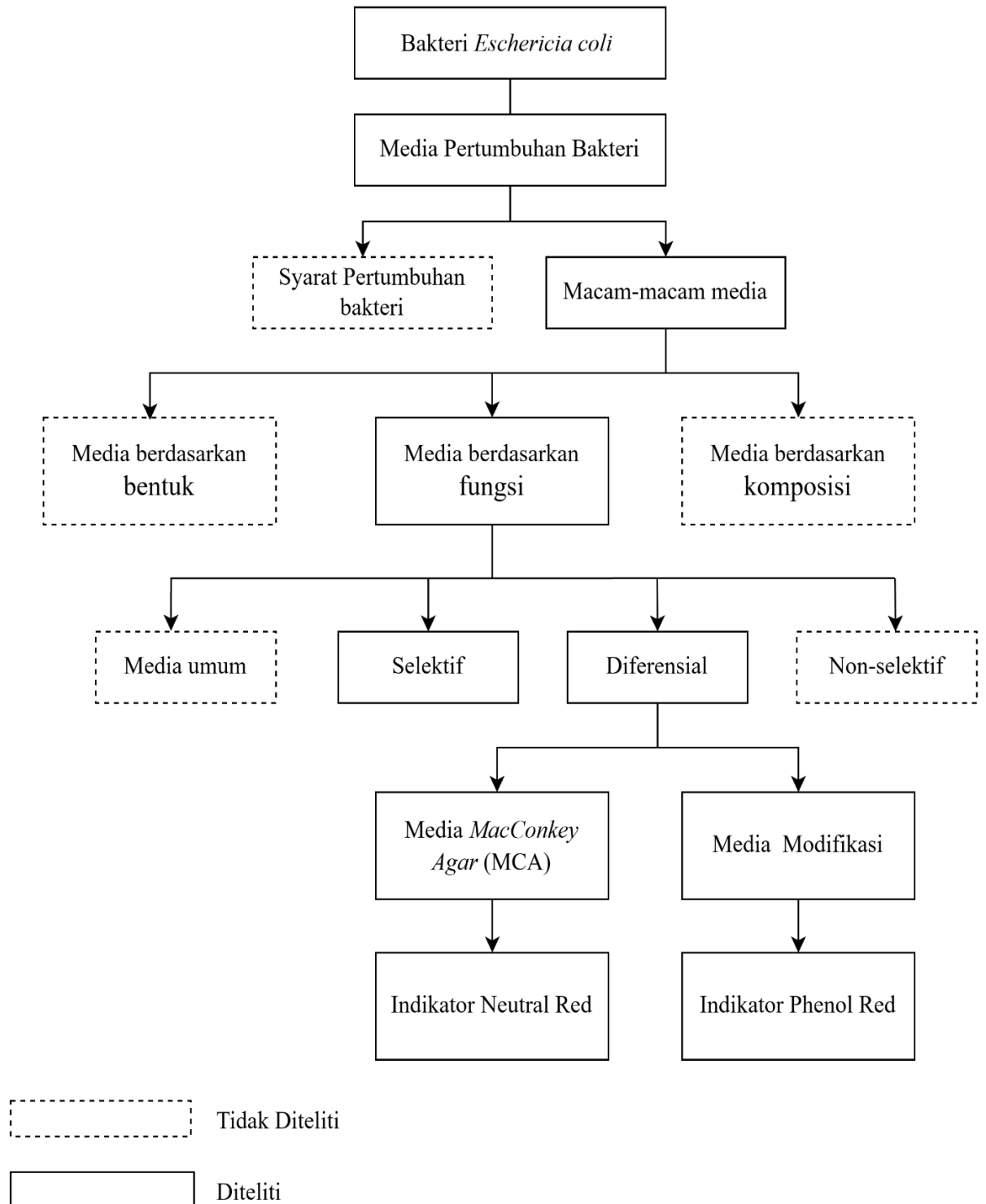
b. *Phenol Red*

Phenol red adalah indikator pH yang berubah warna karena perubahan struktur kimia (ionisasi gugus fenolik dan sulfonat) akibat perubahan konsentrasi ion H^+ . Dalam kondisi asam, indikator pH *phenol red* berwarna kuning di bawah pH 6,8 dan menjadi merah muda cerah di atas pH 8,2. *Phenol red* dapat digunakan sebagai indikator medium peptone dengan perubahan warna dari merah-oranye menjadi kuning saat medium menjadi asam (Supriatin dkk., 2021).



Gambar 4. Bakteri Tidak Fermenter pada MCA
Sumber: Balaji dkk., 2024.

B. Kerangka Teori



Gambar 5. Kerangka Teori

C. Hipotesis Penelitian

Tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada media modifikasi *MacConkey Agar* (MCA) dengan indikator *phenol red* dan media *MacConkey Agar* (MCA) standar.