

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. *Citrobacter koseri* (*C. koseri*)

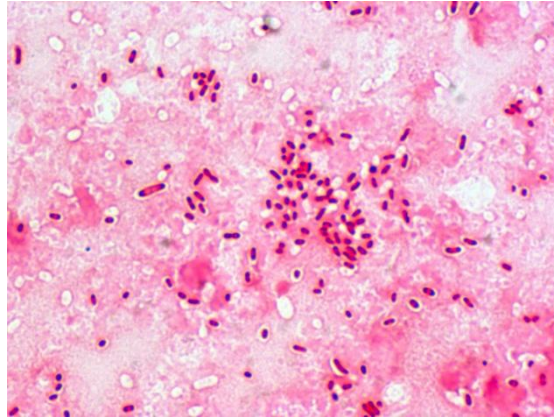
C. koseri merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang yang termasuk dalam famili *Enterobacteriaceae*. Bakteri ini bersifat anaerob fakultatif, artinya dapat tumbuh dalam kondisi aerob maupun anaerob. *C. koseri* tidak membentuk spora dan umumnya bersifat motil dengan flagela peritrik (Jawetz *et al.*, 2020).

a. Klasifikasi

Secara taksonomi, *C. koseri* diklasifikasikan sebagai berikut (Jawetz *et al.*, 2020):

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Proteobacteria
Kelas	: Gammaproteobacteria
Ordo	: Enterobacterales
Famili	: Enterobacteriaceae
Genus	: <i>Citrobacter</i>
Spesies	: <i>Citrobacter koseri</i>

b. Karakteristik dan Morfologi *C. Koseri*



Gambar 1. Mikrokopis *C. koseri*

Sumber: Public Health Agency of Canada, 2024

Morfologi *C. koseri* berbentuk batang dengan ukuran kecil dan tidak membentuk spora (Gambar 1). Tidak adanya spora menunjukkan bahwa bakteri ini bergantung sepenuhnya pada kondisi lingkungan yang mendukung untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. *C. koseri* memiliki beberapa mekanisme adaptasi, salah satunya adalah kemampuan bergerak menggunakan flagela yang tersebar di permukaan sel. Mobilitas ini memungkinkan bakteri berpindah menuju area yang lebih menguntungkan secara nutrisi, terutama pada media kultur (Irianto, 2014).

Fisiologi, *C. koseri* bersifat anaerob fakultatif, sehingga dapat menyesuaikan sistem metabolisme energinya sesuai dengan ketersediaan oksigen di lingkungan. Pada kondisi aerob, energi diperoleh melalui respirasi sel, sedangkan pada kondisi anaerob

bakteri mampu bertahan melalui jalur fermentasi atau respirasi anaerob (Waluyo, 2018).

Karakteristik biokimia *C. koseri* menunjukkan ciri khas bakteri enterik, antara lain bersifat katalase positif dan oksidase negatif. Aktivitas enzim katalase berperan dalam menetralkan senyawa reaktif hasil metabolisme aerob, sehingga membantu menjaga stabilitas sel. Sifat oksidase negatif menunjukkan bahwa bakteri ini tidak menggunakan enzim sitokrom c oksidase dalam sistem transpor elektronnya, melainkan menggunakan mekanisme alternatif yang umum pada famili *Enterobacteriaceae* (Pelczar & Chan, 2010).

Uji fermentasi karbohidrat *C. koseri* menunjukkan kemampuan memanfaatkan berbagai jenis substrat, namun memiliki kemampuan terbatas dalam memfermentasi laktosa. Pada media MCA, koloni bakteri ini umumnya terlihat tidak berwarna atau hanya sedikit perubahan warna, yang mencerminkan sifat non-fermenter laktosa atau fermenter laktosa lambat (Waluyo, 2018).

c. Media Pertumbuhan *C. koseri*

C. koseri dapat tumbuh pada media umum, seperti Nutrient Agar dan Tryptic Soy Agar (TSA). Nutrient Agar merupakan media non-selektif sederhana yang digunakan untuk pertumbuhan awal bakteri, sedangkan TSA merupakan media non-selektif dengan kandungan nutrisi lebih lengkap yang mendukung pertumbuhan

bakteri secara optimal (Cappuccino & Welsh, 2017). Untuk mengisolasi *C. koseri*, digunakan media selektif umum untuk *Enterobacteriaceae* seperti MCA, Endo Agar, atau media pengayaan seperti Tetrationsat Broth. Suhu optimum tumbuh di rentang 35–37°C dan pH netral.



Gambar 2. Pertumbuhan *C. koseri* pada media MCA
Sumber: Public Health Agency of Canada, 2024

Karakter koloni *C. koseri* pada media MCA dapat bervariasi, mulai dari koloni tidak berwarna hingga merah muda, bergantung pada kemampuan fermentasi laktosa isolat. Media MCA bersifat selektif dan diferensial yang membedakan bakteri Gram-negatif berdasarkan fermentasi laktosa, di mana fermenter laktosa menghasilkan koloni berwarna merah muda, sedangkan non-fermenter tampak pucat atau tidak berwarna. Perbedaan intensitas warna juga dapat dipengaruhi oleh kecepatan fermentasi dan karakter fisiologis strain. Hal ini dapat diamati pada Gambar 2 (Jung & Hoilat, 2024).

2. Vitamin B1 (Tiamin)

a. Pengertian

Vitamin B1 atau tiamin merupakan vitamin larut air yang berperan penting dalam metabolisme sel. Tiamin diubah menjadi bentuk aktif berupa tiamin pirofosfat yang berfungsi sebagai kofaktor pada beberapa enzim dalam metabolisme karbohidrat dan produksi energi (Nelson & Cox, 2017).

Menurut Almatsier (2019), vitamin B1 berperan penting dalam proses perubahan karbohidrat menjadi energi. Kekurangan vitamin B1 dapat menyebabkan gangguan metabolisme karena terhambatnya kerja enzim-enzim yang bergantung pada tiamin pirofosfat.

b. Peran Vitamin B1 dalam Metabolismes Organisme

Vitamin B1 berperan dalam mendukung jalur metabolisme yang berhubungan dengan produksi energi dan pembentukan senyawa penyusun sel. Tiamin pirofosfat berfungsi sebagai kofaktor bagi enzim-enzim yang terlibat dalam konversi piruvat menjadi asetil-KoA, yaitu tahapan penting yang menghubungkan proses glikolisis dengan siklus asam sitrat. Proses ini menentukan seberapa efisien sel bakteri menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembelahan (Liu *et al.*, 2022).

Tiamin pirofosfat juga terlibat dalam jalur pentosa fosfat yang berperan dalam pembentukan prekursor asam nukleat dan

senyawa reduktor yang dibutuhkan untuk reaksi biosintesis. Jalur ini penting bagi mikroorganisme karena mendukung pembentukan DNA, RNA, dan komponen struktural sel lainnya. Oleh karena itu, ketersediaan vitamin B1 akan berpengaruh langsung terhadap kemampuan sel bakteri untuk mempertahankan aktivitas metabolisme normal (Nelson & Cox, 2017).

Ketersediaan vitamin B1 yang berada dalam kondisi terbatas, berdampak terhadap aktivitas enzim-enzim yang bergantung pada tiamin pirofosfat akan menurun. Penurunan aktivitas enzimatik ini menyebabkan proses metabolisme sel berlangsung kurang efisien, yang selanjutnya dapat mengakibatkan perlambatan laju pertumbuhan dan terhambatnya pembelahan sel bakteri (Paerl *et al.*, 2018)

Penurunan aktivitas enzim akibat keterbatasan vitamin B1 secara langsung memengaruhi efisiensi metabolisme energi bakteri. Efisiensi metabolisme energi yang rendah menyebabkan energi yang dihasilkan sel menjadi tidak optimal, sehingga tidak mencukupi untuk mendukung proses pembelahan sel dan pembentukan komponen seluler secara maksimal. Kondisi ini berdampak pada pertumbuhan bakteri yang lebih lambat serta pembentukan koloni yang lebih sedikit dan kurang optimal pada media kultur. Oleh karena itu, ketersediaan vitamin B1 yang cukup berperan penting dalam meningkatkan efisiensi metabolisme

energi bakteri sehingga mendukung pertumbuhan *C. koseri* secara lebih optimal (Prescott *et al.*, 2017).

c. Pengaruh Vitamin Terhadap Pertumbuhan Bakteri

Vitamin merupakan bagian dari faktor pertumbuhan mikroorganisme, yaitu senyawa organik yang diperlukan untuk menunjang pertumbuhan tetapi tidak selalu dapat disintesis oleh semua bakteri. Beberapa jenis bakteri memiliki kemampuan untuk memproduksi vitamin secara mandiri, sementara bakteri lain memerlukan vitamin dari lingkungan sekitarnya atau dari media pertumbuhan yang digunakan (Pelczar & Chan, 2010).

Kondisi media yang kandungan nutrisinya terbatas, vitamin dapat menjadi faktor pembatas pertumbuhan. Penambahan vitamin ke dalam media pada kondisi tersebut berpotensi memperbaiki laju metabolisme sel, sehingga fase adaptasi dapat berlangsung lebih singkat dan pertumbuhan bakteri pada fase eksponensial menjadi lebih optimal. Namun demikian, respons terhadap penambahan vitamin sangat bergantung pada karakteristik fisiologis masing-masing bakteri (Ali *et al.*, 2023).

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pada komunitas bakteri tertentu, ketersediaan tiamin dari luar sel memiliki peranan penting dalam mendukung pertumbuhan dan keberlangsungan hidup mikroorganisme, terutama ketika vitamin tersebut tidak tersedia dalam jumlah cukup di lingkungan (Paerl *et al.*, 2018).

3. Media Pertumbuhan Bakteri

a. Pengertian

Media pertumbuhan bakteri merupakan sarana buatan yang disiapkan untuk menyediakan lingkungan yang memungkinkan mikroorganisme hidup, berkembang, dan bereproduksi di luar habitat alaminya. Media pertumbuhan mengandung unsur-unsur yang dibutuhkan bakteri untuk menjalankan proses fisiologis, terutama metabolisme dan pembelahan sel. Komponen utama yang umumnya terdapat dalam media meliputi sumber karbon sebagai penghasil energi, nitrogen untuk sintesis protein, mineral, air, serta senyawa pendukung lain seperti vitamin dan asam amino (Waluyo, 2018).

Dalam praktik mikrobiologi modern, media kultur bukan sekadar tempat tumbuh bagi mikroorganisme; media yang dipilih harus menyediakan nutrisi dasar dan kondisi fisik yang mendukung setiap tahap metabolisme sel. Komposisi media termasuk sumber karbon, nitrogen, mineral, vitamin, serta pH dan faktor pertumbuhan—menentukan kemampuan bakteri untuk memulai pertumbuhan, memperbanyak populasi, dan menunjukkan ciri-ciri morfologi koloni secara konsisten (Yimer *et al.*, 2022)

Penelitian-penelitian terkini menyebutkan bahwa pemilihan media harus mempertimbangkan tujuan kultur, apakah fokusnya

pada pertumbuhan maksimal, isolasi spesifik, atau penekanan pertumbuhan bakteri lain. Komposisi media yang dioptimalkan—termasuk pH awal, konsentrasi nutrisi dasar, dan adanya faktor pertumbuhan seperti vitamin, dapat memperbaiki hasil kultur serta mempercepat fase adaptasi awal mikroba (Shawana *et al.*, 2020)

b. Media Selektif

Media selektif merupakan media kultur yang dibuat secara khusus untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme tertentu dengan cara menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain yang tidak diinginkan. Prinsip kerja media selektif didasarkan pada penambahan komponen penghambat, seperti garam empedu, zat pewarna, atau senyawa kimia tertentu, yang memiliki efek inhibisi terhadap kelompok mikroba tertentu tanpa mengganggu pertumbuhan mikroorganisme target (Forbes *et al.*, 2022)

Media selektif dalam praktik mikrobiologi modern mempunyai peranan penting karena sebagian besar spesimen klinis mengandung campuran berbagai jenis mikroorganisme. Penggunaan media selektif memungkinkan mikroorganisme yang ditargetkan dapat tumbuh secara dominan sehingga proses isolasi dan identifikasi dapat dilakukan secara lebih akurat dan efisien (Leber, 2020)

4. Media MacConkey Agar (MCA)

MCA merupakan media selektif yang banyak digunakan dalam diagnostik laboratorium karena mengandung garam empedu dan kristal violet yang efektif menghambat bakteri Gram positif, sehingga memungkinkan bakteri Gram negatif, khususnya anggota famili *Enterobacteriaceae*, tumbuh dengan baik. Prinsip selektivitas ini menjadikan MCA sebagai media standar dalam pemeriksaan bakteri enterik (Forbes *et al.*, 2022)

Penggunaan media selektif seperti MCA sangat penting dalam pemeriksaan spesimen yang mengandung campuran mikroorganisme. Media selektif membantu menekan pertumbuhan mikroorganisme non-target sehingga proses isolasi dan identifikasi bakteri target dapat dilakukan dengan lebih efisien dan akurat (Al-Blooshi *et al.*, 2021). Media MCA yang ditunjukkan pada Gambar 1 tampak berwarna merah kecokelatan, yang merupakan karakteristik khas media ini akibat adanya indikator pH merah netral.

Secara spesifik, komposisi standar media MacConkey Agar (MCA) dalam 1 Liter pelarut berdasarkan standar formulasi (*Technical Data Sheet*) beserta fungsinya adalah sebagai berikut:

- a) Peptones (20,0 gram), yang mencakup tryptone (17,0 g), peptone (1,5 g), dan proteose peptone (1,5 g): Berfungsi sebagai sumber nitrogen dan asam amino yang sangat dibutuhkan bakteri untuk sintesis protein serta pembentukan sel baru (Madigan *et al.*, 2021).

- b) Laktosa (10,0 gram): Berperan sebagai substrat fermentasi atau sumber karbohidrat utama yang dimanfaatkan oleh bakteri enterik tertentu dalam metabolisme (Madigan *et al.*, 2021).
- c) Natrium Klorida/*Sodium chloride* (5,0 gram): Berfungsi untuk menjaga keseimbangan tekanan osmotik sel bakteri agar tetap berada pada kondisi lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhannya (Madigan *et al.*, 2021).
- d) Agar (15,0 gram): Berfungsi sebagai agen pematat media yang membentuk struktur permukaan tempat koloni bakteri dapat berkembang secara optimal (Madigan *et al.*, 2021).
- e) MCA juga dilengkapi indikator pH merah netral (0,03 gram) yang digunakan untuk membedakan bakteri fermenter dan non-fermenter laktosa seperti yang terlihat pada Gambar 1. (Forbes *et al.*, 2022).



Gambar 3. Media MCA
Sumber: Carolina Biological Supply Company, 2024

Fermentasi laktosa menghasilkan asam yang menyebabkan koloni berwarna merah muda hingga merah, sedangkan bakteri non-fermenter laktosa membentuk koloni tidak berwarna (Forbes *et al.*, 2022). pH akhir media ini berkisar $7,1 \pm 0,2$ sehingga mendukung pertumbuhan optimal bakteri Gram-negatif enterik (Cappuccino & Welsh, 2017).

MCA dalam mikrobiologi klinik digunakan secara luas untuk mendeteksi dan membedakan bakteri enterik seperti *Citrobacter*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, dan *Shigella*. Meskipun efektif sebagai media selektif dan diferensial, MCA tidak diformulasikan sebagai media dengan kandungan nutrisi atau vitamin yang tinggi. Oleh karena itu, modifikasi media melalui penambahan suplemen tertentu, seperti vitamin, berpotensi memengaruhi laju pertumbuhan bakteri tanpa menghilangkan fungsi utama media tersebut.

5. Laju Pertumbuhan Bakteri

Laju pertumbuhan bakteri menunjukkan seberapa cepat suatu populasi bakteri bertambah jumlahnya dalam kondisi lingkungan tertentu. Konsep ini digunakan untuk menggambarkan kemampuan bakteri dalam memanfaatkan nutrisi yang tersedia serta menyesuaikan proses metabolisme sel terhadap lingkungan tempat bakteri tersebut ditumbuhkan. Dengan kata lain, laju pertumbuhan mencerminkan respons fisiologis bakteri terhadap kondisi media dan faktor lingkungan yang diberikan (Madigan *et al.*, 2021).

Laju pertumbuhan sering dijadikan indikator utama untuk menilai pengaruh suatu perlakuan terhadap pertumbuhan bakteri. Perubahan laju pertumbuhan dapat diamati melalui peningkatan jumlah koloni pada media padat atau melalui peningkatan kekeruhan kultur pada media cair. Perbedaan laju pertumbuhan antar perlakuan menunjukkan adanya pengaruh kondisi lingkungan atau komposisi media terhadap aktivitas metabolisme bakteri (Kapási *et al.*, 2020). Dengan demikian, pengukuran laju pertumbuhan bakteri menjadi dasar penting dalam mengevaluasi efektivitas suatu modifikasi media atau penambahan senyawa tertentu, termasuk vitamin.

a. Fase Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan bakteri dalam suatu media tidak berlangsung secara konstan, melainkan mengikuti pola tertentu yang dikenal sebagai kurva pertumbuhan bakteri. Kurva ini umumnya terdiri atas empat fase utama, yaitu fase penyesuaian (lag), fase eksponensial (log), fase stasioner, dan fase kematian (Madigan *et al.*, 2021).

Fase lag merupakan tahap awal ketika bakteri baru dipindahkan ke lingkungan atau media baru. Pada fase ini, bakteri belum mengalami peningkatan jumlah sel secara nyata karena sel masih menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan, termasuk mengaktifkan sistem enzim dan jalur metabolisme yang diperlukan. Setelah proses adaptasi selesai, bakteri memasuki fase

eksponensial, yaitu fase di mana pembelahan sel berlangsung sangat cepat dan teratur. Pada fase ini, laju pertumbuhan berada pada tingkat maksimum.

Nutrisi yang terbatas dan penumpukan hasil metabolisme menyebabkan bakteri memasuki fase stasioner. Pada fase ini, jumlah sel yang membelah relatif seimbang dengan jumlah sel yang mati. Apabila kondisi lingkungan semakin tidak mendukung, bakteri akan memasuki fase kematian yang ditandai dengan penurunan jumlah sel hidup dalam populasi (Kapási *et al.*, 2020).

Perubahan komposisi media, termasuk penambahan faktor pertumbuhan seperti vitamin, umumnya memberikan pengaruh paling nyata pada fase lag dan fase eksponensial, karena kedua fase tersebut sangat bergantung pada kesiapan metabolisme sel.

b. Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Laju Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan bakteri merupakan proses biologis yang berlangsung secara dinamis dan dipengaruhi oleh banyak aspek, sehingga kecepatan pertumbuhan setiap bakteri tidak selalu sama meskipun berada pada media yang serupa. Perbedaan tersebut muncul karena adanya variasi kondisi lingkungan, kemampuan metabolisme sel, serta ketersediaan zat pendukung yang dibutuhkan bakteri untuk menjalankan aktivitas hidupnya (Wang *et al.*, 2022). Dengan memahami faktor-faktor tersebut, perbedaan

pola pertumbuhan bakteri dapat dijelaskan secara lebih jelas, yang meliputi faktor – faktor berikut:

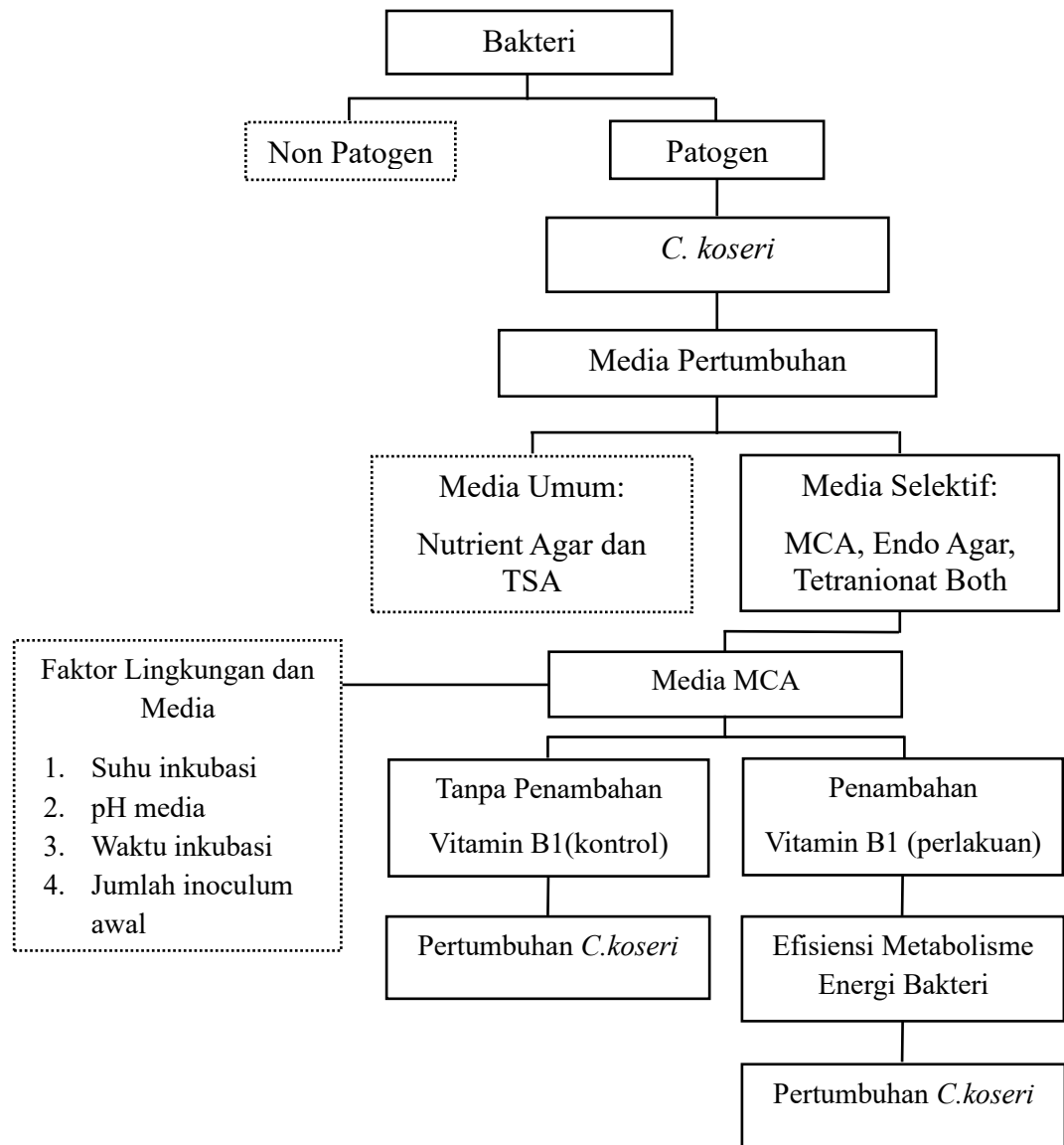
Pertumbuhan bakteri dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan yang berkaitan langsung dengan kondisi media dan proses inkubasi. Faktor lingkungan tersebut meliputi suhu inkubasi yang sesuai dengan kebutuhan bakteri, pH media pertumbuhan, ketersediaan oksigen (aerob atau anaerob), serta kandungan nutrisi dalam media seperti sumber karbon dan nitrogen. Kondisi lingkungan yang sesuai akan mendukung aktivitas metabolisme bakteri sehingga pertumbuhan dapat berlangsung secara optimal (Madigan *et al.*, 2021).

Pertumbuhan bakteri juga dipengaruhi oleh faktor fisiologis sel. Faktor ini mencakup aktivitas metabolisme sel, kinerja enzim-enzim metabolik, serta ketersediaan kofaktor yang dibutuhkan untuk menunjang kerja enzim. Apabila aktivitas metabolisme dan kinerja enzim berlangsung dengan baik serta didukung oleh ketersediaan kofaktor yang cukup, maka proses pertumbuhan dan pembelahan sel bakteri dapat berjalan lebih efisien (Wang *et al.*, 2022).

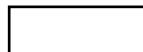
Faktor pertumbuhan berupa vitamin juga memiliki peranan penting dalam mendukung laju pertumbuhan bakteri. Vitamin berfungsi sebagai kofaktor dalam berbagai reaksi metabolik, termasuk metabolisme energi. Vitamin B1 berperan dalam jalur

metabolisme energi bakteri, sehingga kekurangan vitamin B1 dapat menurunkan laju pertumbuhan bakteri. Sebaliknya, penambahan vitamin B1 dapat meningkatkan efisiensi metabolisme energi yang berdampak pada peningkatan pertumbuhan bakteri (Liu *et al.*, 2022).

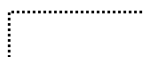
B. Kerangka Teori



Keterangan:



: Diteliti

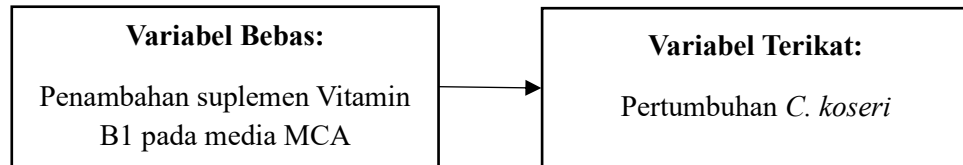


: Tidak Diteliti

Gambar 4. Kerangka Teori

C. Hubungan Antar Variabel

Hubungan antar variabel ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 5. Hubungan Antar Variabel

D. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah penambahan suplemen vitamin B1 pada media MCA berpengaruh terhadap laju pertumbuhan *C. koseri*.