

1. Peran Enzim

Enzim adalah biokatalisator, umumnya berupa protein, yang mempercepat reaksi kimia dalam sel tanpa ikut habis dalam reaksi.

Peran utama enzim:

Peran	Penjelasan
Mempercepat reaksi	Menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi berlangsung lebih cepat.
Bersifat spesifik	Substrat tertentu berikatan dengan sisi aktif enzim tertentu.
Mengatur metabolisme	Membantu mengendalikan berbagai reaksi metabolisme sel.
Tidak habis dalam reaksi	Enzim dapat digunakan kembali setelah reaksi berlangsung.
Bekerja dalam kondisi tertentu	Aktivitasnya dipengaruhi suhu, pH, konsentrasi substrat, dan faktor lainnya.

2. Faktor yang Memengaruhi Kerja/Aktivitas Enzim

A. Suhu

Suhu memengaruhi gerakan molekul dan tumbukan antara enzim dengan substrat.

- Suhu meningkat → aktivitas enzim meningkat **sampai suhu optimum**.
- Melebihi suhu optimum → struktur protein enzim dapat berubah/terdenaturasi → aktivitas menurun.
- Suhu terlalu rendah → aktivitas enzim melambat, tetapi biasanya enzim tidak mengalami denaturasi.

Pola grafik TKA:

naik → mencapai titik optimum → turun tajam

Kata kunci: **suhu optimum dan denaturasi**.

B. pH

Setiap enzim memiliki **pH optimum**.

Contoh:

- Pepsin → bekerja optimal dalam suasana asam.
- Tripsin → bekerja optimal dalam suasana lebih basa.

Perubahan pH yang terlalu jauh dari kondisi optimum dapat mengubah struktur sisi aktif enzim sehingga substrat sulit berikatan.

TKA: Jika grafik aktivitas enzim terhadap pH berbentuk kurva dengan puncak pada pH tertentu, puncak tersebut menunjukkan **pH optimum**.

C. Konsentrasi Substrat

Jika jumlah enzim tetap:

Konsentrasi substrat meningkat → laju reaksi meningkat

Namun, setelah semua sisi aktif enzim hampir selalu ditempati substrat, penambahan substrat lebih lanjut tidak banyak meningkatkan laju reaksi. Hal ini disebut **kejenuhan enzim (saturasi)**.

D. Konsentrasi Enzim

Jika substrat tersedia dalam jumlah cukup:

Konsentrasi enzim meningkat → laju reaksi meningkat.

Semakin banyak enzim, semakin banyak sisi aktif yang tersedia untuk mengikat substrat. Tetapi jika substrat terbatas, penambahan enzim pada akhirnya tidak lagi memberikan peningkatan yang berarti.

E. Inhibitor

Inhibitor adalah zat yang menghambat aktivitas enzim.

1. Inhibitor kompetitif

Inhibitor bersaing dengan substrat untuk menempati **sisi aktif**.

Analogi:

Substrat dan inhibitor "berebut kursi" yang sama.

Peningkatan konsentrasi substrat dapat mengurangi pengaruh inhibitor kompetitif.

2. Inhibitor nonkompetitif

Inhibitor berikatan pada bagian lain dari enzim sehingga **mengubah bentuk sisi aktif**.

Akibatnya, substrat sulit berikatan atau reaksi tidak berlangsung optimal.

3. Ringkasan Cepat untuk TKA

Faktor	Jika meningkat	Dampak utama
Suhu	Naik sampai optimum	Aktivitas naik
Suhu terlalu tinggi	Melebihi optimum	Denaturasi → aktivitas turun
Substrat	Naik	Aktivitas naik sampai jenuh
Enzim	Naik	Aktivitas naik jika substrat cukup
pH	Menjauh dari optimum	Aktivitas menurun
Inhibitor	Naik	Aktivitas enzim menurun

4. Pola Analisis yang Sering Muncul dalam TKA

Untuk soal berbentuk **grafik atau tabel**, ajarkan murid menggunakan pola berikut:

Data → **Pola** → **Penyebab** → **Kesimpulan**

Misalnya:

Hasil percobaan menunjukkan aktivitas enzim meningkat dari suhu 20°C hingga 40°C, tetapi menurun pada suhu 60°C.

Maka analisisnya:

Data: aktivitas meningkat → kemudian menurun

↓

Pola: terdapat suhu optimum

↓

Penyebab: peningkatan suhu mempercepat tumbukan enzim-substrat, tetapi suhu terlalu tinggi menyebabkan perubahan struktur enzim

↓

Kesimpulan: enzim memiliki suhu optimum dan aktivitasnya menurun pada suhu yang terlalu tinggi.

6. Inti yang Perlu dikuasai Murid

Untuk TKA, saya sarankan murid benar-benar memahami **6 konsep kunci**:

Enzim → energi aktivasi → sisi aktif → substrat → faktor lingkungan → aktivitas enzim

Dan yang paling penting, murid harus mampu:

1. membaca **grafik aktivitas enzim**;
2. menentukan **suhu/pH optimum**;
3. menjelaskan penyebab aktivitas meningkat/menurun;
4. menganalisis **konsentrasi substrat dan enzim**;
5. membedakan **inhibitor kompetitif dan nonkompetitif**;
6. menarik **kesimpulan dari data percobaan**.

1. Soal TKA

Suatu penelitian menguji pengaruh suhu terhadap aktivitas enzim katalase. Diperoleh data berikut:

Suhu	Aktivitas katalase
10°C	20
20°C	38
30°C	65
40°C	82
50°C	35
60°C	8

Pernyataan yang paling tepat berdasarkan data tersebut adalah ...

- A. Aktivitas katalase selalu meningkat seiring peningkatan suhu.
- B. Katalase bekerja optimal pada suhu 60°C.
- C. Suhu 40°C merupakan suhu optimum pada kondisi percobaan tersebut.
- D. Suhu rendah menyebabkan katalase mengalami denaturasi.
- E. Penurunan aktivitas pada 50°C terjadi karena konsentrasi substrat meningkat.

2. Pengaruh Suhu terhadap Aktivitas Enzim

Seorang murid melakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap aktivitas enzim katalase. Enzim katalase ditambahkan ke larutan hidrogen peroksida (H_2O_2). Banyaknya gelembung oksigen yang terbentuk digunakan sebagai indikator aktivitas enzim.

Hasil percobaan sebagai berikut.

Suhu	Banyak gelembung O_2
10°C	12
20°C	25
30°C	42
40°C	57
50°C	21
60°C	5

Berdasarkan data tersebut, kesimpulan yang paling tepat adalah

- A. aktivitas katalase selalu meningkat seiring kenaikan suhu
- B. suhu 60°C merupakan suhu optimum katalase
- C. aktivitas katalase paling tinggi pada suhu 40°C dan menurun pada suhu yang lebih tinggi
- D. suhu rendah menyebabkan katalase mengalami denaturasi
- E. kenaikan suhu menyebabkan jumlah substrat H_2O_2 bertambah

3. Pengaruh pH terhadap Aktivitas Enzim

Enzim amilase berfungsi menguraikan pati menjadi molekul yang lebih sederhana. Seorang murid menguji aktivitas amilase pada berbagai pH. Banyaknya pati yang berhasil diuraikan setelah 10 menit ditunjukkan pada tabel berikut.

pH	Pati yang diuraikan (mg)
3	8
4	18

pH	Pati yang diuraikan (mg)
5	35
6	51
7	67
8	43
9	20

Berdasarkan data tersebut, pernyataan yang **paling tepat** adalah

- A. amilase bekerja optimal pada pH 3
- B. semakin basa larutan, aktivitas amilase selalu meningkat
- C. aktivitas amilase optimum pada pH 7 karena jumlah pati yang diuraikan paling banyak
- D. pH tidak memengaruhi kerja enzim selama substrat tersedia
- E. pH 9 menyebabkan konsentrasi enzim meningkat sehingga aktivitasnya menurun

4 – Konsentrasi Substrat dan Kejenuhan Enzim

Seorang murid menguji pengaruh konsentrasi substrat terhadap kecepatan reaksi suatu enzim. Jumlah enzim dibuat tetap pada setiap percobaan.

Konsentrasi substrat (%)	Laju reaksi (unit/menit)
1	10
2	19
3	29
4	38
5	46
6	48
7	49
8	49

Berdasarkan data tersebut, alasan yang paling tepat untuk menjelaskan kondisi setelah konsentrasi substrat mencapai **6%** adalah

- A. enzim mulai mengalami denaturasi karena substrat terlalu banyak
- B. seluruh substrat telah berubah menjadi enzim
- C. sebagian besar sisi aktif enzim telah berikatan dengan substrat sehingga enzim mendekati kondisi jenuh
- D. penambahan substrat menyebabkan suhu larutan meningkat
- E. konsentrasi substrat yang tinggi menghentikan pembentukan produk

5 – Inhibitor Enzim

Enzim tertentu digunakan untuk mengubah substrat S menjadi produk P. Seorang murid melakukan percobaan dengan dan tanpa inhibitor X. Hasilnya sebagai berikut.

Konsentrasi substrat	Tanpa inhibitor	Dengan inhibitor X
Rendah	15	5
Sedang	35	20
Tinggi	52	49

Berdasarkan pola data tersebut, mekanisme inhibitor X yang **paling mungkin** adalah

- A. inhibitor menghancurkan seluruh molekul enzim
- B. inhibitor bersaing dengan substrat untuk menempati sisi aktif enzim
- C. inhibitor meningkatkan energi aktivasi substrat sehingga enzim semakin aktif
- D. inhibitor mengubah substrat menjadi produk tanpa bantuan enzim
- E. inhibitor menyebabkan jumlah enzim bertambah ketika konsentrasi substrat meningkat

6 – Integrasi Faktor yang Memengaruhi Enzim

Seorang murid melakukan percobaan terhadap enzim protease menggunakan putih telur sebagai substrat. Setiap tabung berisi jumlah enzim dan substrat yang sama. Setelah 30 menit, tingkat kejernihan larutan digunakan sebagai indikator banyaknya protein yang telah diuraikan.

Tabung	pH	Suhu	Kondisi larutan
A	2	37°C	Keruh
B	7	37°C	Sangat keruh
C	10	37°C	Keruh
D	7	60°C	Keruh

Semakin banyak protein yang diuraikan, larutan semakin jernih.

Berdasarkan data tersebut, **pernyataan yang paling tepat** adalah

- A. protease bekerja optimal pada pH 2 dan suhu 60°C
- B. protease bekerja optimal pada pH 7 dan suhu 37°C
- C. suhu tidak memengaruhi aktivitas protease
- D. pH 10 meningkatkan aktivitas protease karena bersifat basa
- E. perubahan pH tidak berpengaruh terhadap struktur enzim

Rekapitulasi 5 Soal

No.	Fokus Materi	Stimulus	Kemampuan TKA	Kunci
1	Suhu	Tabel data	Menentukan suhu optimum	C
2	pH	Tabel data	Menentukan pH optimum	C
3	Konsentrasi substrat	Tabel data	Menganalisis kejenuhan enzim	C
4	Inhibitor	Tabel data	Menganalisis mekanisme inhibitor	B
5	Suhu + pH	Tabel percobaan	Menganalisis beberapa variabel	B

7. Sekelompok murid SMA melakukan percobaan untuk mengetahui faktor yang memengaruhi kerja enzim **amilase**. Larutan pati digunakan sebagai substrat. Larutan pati dimasukkan ke dalam tiga tabung reaksi yang diberi label A, B, dan C. Setiap tabung diberi perlakuan berbeda. Ketiga tabung kemudian diinkubasi pada suhu **37°C selama 20 menit**.

Hasil pengamatan ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabung	Perlakuan	Kondisi larutan setelah inkubasi
A	2 mL larutan pati + 1 mL amilase	Keruh
B	2 mL larutan pati + 1 mL amilase + 1 mL HCl	Sangat keruh
C	2 mL larutan pati + 1 mL amilase + 1 mL NaOH	Keruh

Aktivitas enzim diamati berdasarkan **tingkat perubahan substrat menjadi produk**. Semakin banyak pati yang diuraikan, semakin optimal kerja enzim amilase.

Berdasarkan hasil percobaan tersebut, faktor utama yang memengaruhi kerja enzim amilase adalah

- A. konsentrasi larutan pati dalam tabung reaksi
- B. **pH lingkungan tempat enzim amilase bekerja**
- C. jenis substrat yang digunakan dalam percobaan
- D. suhu selama proses inkubasi berlangsung
- E. waktu inkubasi enzim amilase dengan substrat

8. Soal Setara – Faktor yang Memengaruhi Fotosintesis

Seorang murid ingin menyelidiki faktor yang memengaruhi proses fotosintesis pada tumbuhan. Ia memilih **daun tanaman mangga (*Mangifera indica*)** yang sehat. Sebagian permukaan daun ditutup menggunakan **kertas hitam**, sedangkan bagian lainnya dibiarkan terbuka. Tanaman kemudian diletakkan di tempat yang terkena cahaya matahari selama beberapa jam.

Setelah perlakuan selesai, daun dipetik, kemudian direbus dalam air panas untuk mematikan jaringan. Daun selanjutnya direndam dalam alkohol panas untuk melarutkan klorofil. Setelah itu, daun ditetesi larutan **Lugol (iodium)** untuk menguji keberadaan amilum.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa **bagian daun yang terkena cahaya berubah menjadi biru kehitaman**, sedangkan **bagian daun yang tertutup kertas hitam tetap berwarna coklat kekuningan**.

Berdasarkan hasil percobaan tersebut, faktor yang memengaruhi proses fotosintesis yang sedang diuji adalah

- A. konsentrasi karbon dioksida di udara
- B. jumlah air yang diserap oleh akar
- C. intensitas cahaya yang diterima daun
- D. konsentrasi klorofil dalam jaringan daun
- E. suhu lingkungan tempat tumbuhan tumbuh

Kunci jawaban

1. Jawaban: C

Analisis TKA

Data menunjukkan aktivitas tertinggi pada **40°C**, sehingga suhu tersebut merupakan suhu optimum dalam kondisi percobaan.

Pada suhu lebih tinggi, aktivitas menurun. Salah satu penyebabnya adalah **perubahan struktur/denaturasi enzim**

2. Kunci: C

Pembahasan: Aktivitas tertinggi ditunjukkan oleh jumlah gelembung terbanyak, yaitu pada **40°C**. Setelah suhu melebihi kondisi optimum, aktivitas menurun, kemungkinan karena perubahan struktur/denaturasi enzim.

Indikator: Menganalisis hubungan suhu dengan aktivitas enzim berdasarkan data percobaan.

Level kognitif: C4 – Analisis.

3. Kunci: C

Pembahasan: Jumlah pati yang diuraikan paling banyak pada **pH 7**, sehingga pada kondisi percobaan tersebut pH 7 merupakan pH optimum amilase.

Indikator: Menentukan kondisi pH optimum enzim berdasarkan data kuantitatif.

Level kognitif: C4 – Analisis.

4. Kunci: C

Pembahasan: Pada awalnya, peningkatan substrat meningkatkan peluang tumbukan enzim-substrat sehingga laju reaksi meningkat. Setelah mencapai sekitar 6%, laju hampir konstan karena **sisi aktif enzim sudah banyak terikat substrat**. Enzim berada mendekati kondisi jenuh.

Indikator: Menganalisis hubungan konsentrasi substrat dengan laju reaksi enzim berdasarkan data.

Level kognitif: C4 – Analisis.

5. Kunci: B

Pembahasan: Pada konsentrasi substrat rendah, inhibitor sangat menghambat reaksi. Namun, ketika konsentrasi substrat tinggi, perbedaannya menjadi kecil. Pola tersebut sesuai dengan **inhibisi kompetitif**, karena substrat dalam jumlah tinggi dapat mengurangi pengaruh inhibitor melalui persaingan pada sisi aktif.

Indikator: Menganalisis mekanisme inhibisi enzim berdasarkan pola hubungan konsentrasi substrat dan laju reaksi.

Level kognitif: C4 – Analisis.

6. Kunci: B

Pembahasan: Tabung B menghasilkan larutan paling jernih sehingga menunjukkan penguraian protein paling tinggi. Kondisinya adalah **pH 7 dan suhu 37°C**. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas enzim dipengaruhi oleh **pH dan suhu**, dan pada kondisi tersebut protease memiliki aktivitas paling tinggi.

Indikator: Menganalisis pengaruh lebih dari satu faktor terhadap aktivitas enzim berdasarkan hasil percobaan.

Level kognitif: C4 – Analisis.

7. Kunci Jawaban

B. pH lingkungan tempat enzim amilase bekerja

Pembahasan

Ketiga tabung menggunakan **substrat, enzim, suhu, dan waktu yang sama**. Perbedaan perlakuan terletak pada penambahan **HCl dan NaOH**, yang menyebabkan perubahan pH larutan.

Tabung B yang diberi HCl menunjukkan kondisi yang berbeda dibandingkan tabung A. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan pH dapat memengaruhi aktivitas enzim. Enzim memiliki **pH optimum** untuk bekerja sehingga perubahan pH yang terlalu jauh dari kondisi optimum dapat menurunkan aktivitasnya.

Analisis Kesetaraan dengan Soal Asli

Aspek	Soal Asli	Soal Setara
Materi	Faktor kerja enzim	Faktor kerja enzim
Enzim	Protease	Amilase
Substrat	Putih telur	Pati
Variabel yang diuji	pH	pH
Bentuk stimulus	Percobaan + tabel	Percobaan + tabel
Kemampuan	Menganalisis hasil percobaan	Menganalisis hasil percobaan
Jawaban	pH lingkungan	pH lingkungan
Level	Analisis	Analisis

Catatan penting untuk TKA: agar soal lebih kuat secara ilmiah, sebaiknya data hasil percobaan dibuat **lebih kuantitatif**, misalnya menggunakan persentase substrat yang terurai atau perubahan warna dengan indikator. Dengan begitu, murid benar-benar harus **menganalisis data**, bukan sekadar mengenali bahwa HCl/NaOH berkaitan dengan pH.

8. Kunci Jawaban

C. intensitas cahaya yang diterima daun

Pembahasan

Bagian daun yang **terkena cahaya** menghasilkan amilum sehingga berubah **biru kehitaman** setelah ditetesi Lugol. Sementara itu, bagian daun yang **tidak terkena cahaya** tidak menunjukkan adanya amilum.

Dengan demikian, percobaan membuktikan bahwa **cahaya diperlukan dalam proses fotosintesis**. Faktor yang sedang diuji adalah **intensitas/ketersediaan cahaya**.

Analisis Kesetaraan

Aspek	Soal pada gambar	Soal setara
Materi	Fotosintesis	Fotosintesis
Konsep	Faktor yang memengaruhi fotosintesis	Faktor yang memengaruhi fotosintesis
Objek	Daun kembang sepatu	Daun mangga
Perlakuan	Sebagian daun ditutup aluminium foil	Sebagian daun ditutup kertas hitam
Indikator	Uji amilum dengan Lugol	Uji amilum dengan Lugol
Data	Bagian terbuka positif amilum	Bagian terkena cahaya positif amilum
Kemampuan yang diukur	Menganalisis hasil percobaan	Menganalisis hasil percobaan
Jawaban	Cahaya	Cahaya
Level kognitif	Analisis	Analisis

Agar Lebih "TKA"

Untuk membuatnya lebih menuntut kemampuan **penalaran**, soal dapat dibuat sedikit lebih tinggi seperti berikut:

Pernyataan yang paling tepat berdasarkan hasil percobaan tersebut adalah

- A. Cahaya merupakan bahan baku utama fotosintesis yang diubah menjadi amilum.
- B. Bagian daun yang tidak terkena cahaya tidak dapat menyerap karbon dioksida.
- C. Cahaya diperlukan agar proses fotosintesis dapat menghasilkan produk yang terdeteksi sebagai amilum.
- D. Klorofil hanya terdapat pada bagian daun yang terkena cahaya.
- E. Lugol menyebabkan bagian daun yang terkena cahaya melakukan fotosintesis.

Jawaban: C.

Versi terakhir ini lebih cocok untuk **TKA**, karena murid harus menghubungkan **perlakuan** → **hasil uji Lugol** → **proses fotosintesis** → **kesimpulan**, bukan sekadar mengingat bahwa cahaya diperlukan dalam fotosintesis.