

BAB 5 Metabolisme dan Enzim

Apakah kegunaan enzim yang diekstrak daripada kulat?

Tahukah ANDA...

- Apakah jenis-jenis metabolisme yang berlaku dalam sel?
- Apakah sifat-sifat umum enzim dan mekanisme tindakannya?
- Apakah faktor-faktor yang mempengaruhi tindak balas enzim?
- Apakah aplikasi enzim dalam kehidupan harian?



5.1 Metabolisme

- 5.1.1 Mendefinisikan metabolisme.
- 5.1.2 Menyatakan jenis metabolisme dalam sel:
 - anabolisme
 - katabolisme

5.2 Enzim

- 5.2.1 Mendefinisikan enzim.
- 5.2.2 Menaakul keperluan enzim dalam metabolisme.
- 5.2.3 Memeriksa penamaan enzim dengan penambahan -ase pada substrat.
- 5.2.4 Mencirikan sifat umum enzim.
- 5.2.5 Berkomunikasi tentang penglibatan komponen sel khusus dalam penghasilan:
 - enzim intrasel
 - enzim ekstrasel
- 5.2.6 Menerangkan mekanisme tindakan enzim dengan menggunakan hipotesis 'mangga dan kunci'.
- 5.2.7 Mentafsir rajah tenaga untuk menerangkan mekanisme tindakan enzim.
- 5.2.8 Menghubungkan kait mekanisme tindakan enzim dengan perubahan faktor berikut:
 - suhu
 - pH
 - kepekatan substrat
 - kepekatan enzim
- 5.2.9 Mengeksperimen untuk mengkaji kesan suhu dan pH terhadap aktiviti enzim amilase dan pepsin.

5.3 Aplikasi Enzim dalam Kehidupan Harian

- 5.3.1 Menjelaskan dengan contoh aplikasi enzim dalam kehidupan harian.

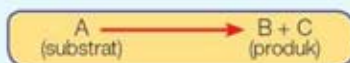
5.1 Metabolisme

Metabolisme merujuk kepada kesemua tindak balas kimia yang berlaku dalam organisma hidup. Proses-proses dalam metabolisme melibatkan penukaran makanan kepada tenaga dalam bentuk ATP dan pembentukan karbohidrat, protein, lipid dan asid nukleik.

Jenis-jenis metabolisme dalam sel

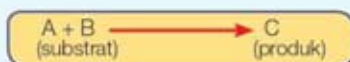
Metabolisme terbahagi kepada dua jenis iaitu **katabolisme** dan **anabolisme**. **Katabolisme** ialah proses penguraian bahan daripada bentuk yang kompleks kepada bentuk yang ringkas. Tindak balas ini membebaskan tenaga. Sebagai contoh, penguraian glukosa semasa respirasi sel untuk penghasilan tenaga.

Secara amnya, tindak balas katabolisme adalah seperti berikut:



Anabolisme merujuk kepada proses sintesis molekul kompleks daripada molekul ringkas. Tindak balas ini menggunakan atau menyerap tenaga. Sebagai contoh, penghasilan glukosa semasa fotosintesis.

Secara amnya, tindak balas anabolisme adalah seperti berikut:



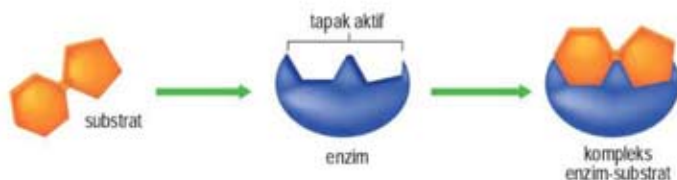
5.2 Enzim

Lensa Biologi

Bakteria *Alcanivorax borkumensis* menghasilkan enzim hidroksilase yang berupaya menguraikan tumpahan minyak di laut dan menukarkannya kepada bahan tidak toksik.

Di dalam sel, tindak balas biokimia berlaku dengan kadar yang tinggi supaya proses-proses hidup sentiasa terpelihara. Tindak balas biokimia dapat berlaku dengan lebih cepat dalam sel kerana terdapat enzim yang membantu mempercepatkan tindak balas.

Enzim ialah mangkin organik yang kebanyakannya dibina daripada protein dan dihasilkan oleh sel organisma hidup. Namun, bukan semua enzim disintesis daripada protein. Bahan tindak balas yang diperlukan untuk tindak balas enzim dikenali sebagai **substrat**. Substrat bergabung dengan enzim pada tapak spesifik yang dikenali sebagai **tapak aktif** dan membentuk **kompleks enzim-substrat** (Rajah 5.1).

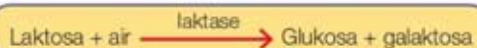


RAJAH 5.1 Pembentukan kompleks enzim-substrat

Penamaan enzim

Pada tahun 1960an, *The International Union of Biochemistry and Molecular Biology* (IUBMB) telah memperkenalkan sistem penamaan enzim berdasarkan substrat atau tindak balas yang dimungkinkan. Nama enzim diperoleh dengan penambahan '-ase' pada nama substrat yang dimungkinkan.

Contoh penambahan '-ase' kepada substrat ialah enzim laktase yang memungkinkan hidrolisis laktosa.



Namun, terdapat juga nama beberapa enzim yang tidak menurut sistem penamaan ini, terutamanya enzim yang telah ditemui sebelum penamaan sistematik diperkenalkan. Contohnya: tripsin, pepsin dan renin.

Zon Aktiviti

Kumpul maklumat tentang penamaan enzim secara konvensional dan berdasarkan *International Union of Biochemistry and Molecular Biology* (IUBMB). Bentangkan.

Sifat-sifat umum enzim



Glikolisis berasal daripada perkataan 'glukosa' dan 'lisis' (pemecahan), dan merupakan pemecahan glukosa oleh enzim heksokinase untuk menghasilkan tenaga dan piruvat.

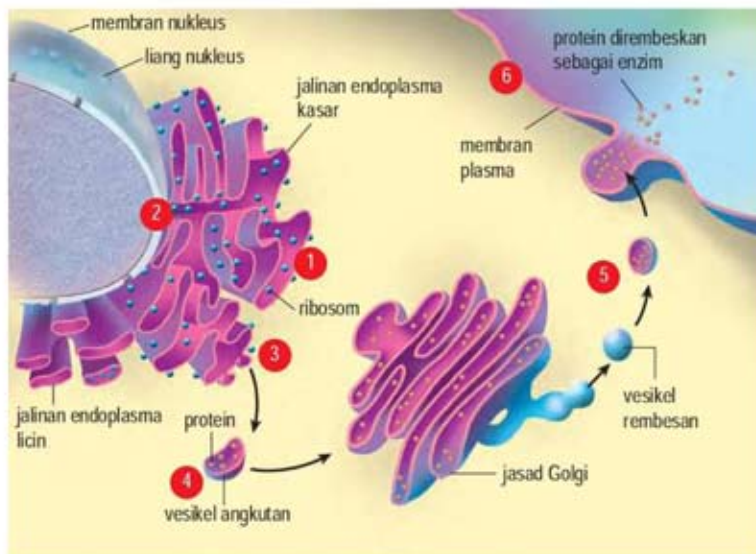
Enzim intrasel dan enzim ekstrasel

Enzim yang disintesis di dalam sel untuk kegunaan sel itu sendiri dikenali sebagai **enzim intrasel**. Contohnya, enzim heksokinase yang digunakan dalam proses glikolisis semasa respirasi sel.

Manakala, enzim yang dirembes keluar sel dikenali sebagai **enzim ekstrasel**. Contohnya, enzim tripsin yang dihasilkan oleh sel pankreas dirembeskan ke dalam duodenum untuk mencernakan polipeptida.

Bagaimanakah enzim ekstrasel dihasilkan? Penghasilan enzim ekstrasel melibatkan beberapa komponen sel tertentu (Rajah 5.2).

- 1 Ribosom merupakan tapak sintesis protein.
- 2 Protein yang telah disintesis di ribosom memasuki lumen jalinan endoplasma kasar dan diangkut menerusnya.
- 3 Apabila sampai di hujung jalinan endoplasma kasar, bahagian membran tersebut membentuk tunas yang menggantung untuk menghasilkan vesikel angkutan.



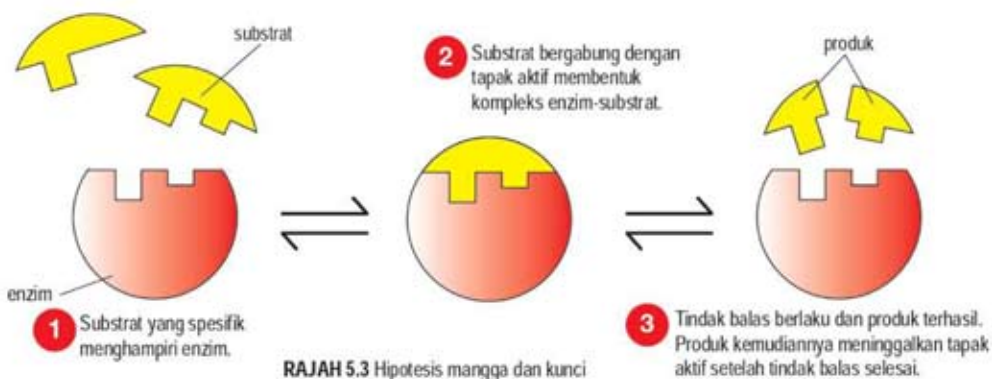
- 4 Vesikel angkutan yang mengandungi protein bergerak menuju ke arah jasad Golgi dan bercantum dengannya.
- 5 Di dalam jasad Golgi, protein diubah suai menjadi enzim dan dirembes dalam vesikel rembesan yang terbentuk daripada hujung jasad Golgi.
- 6 Vesikel rembesan akan bergerak menuju ke membran plasma dan bercantum dengannya, lalu merembeskan enzim ke luar sel.

RAJAH 5.2 Penghasilan enzim ekstrasel

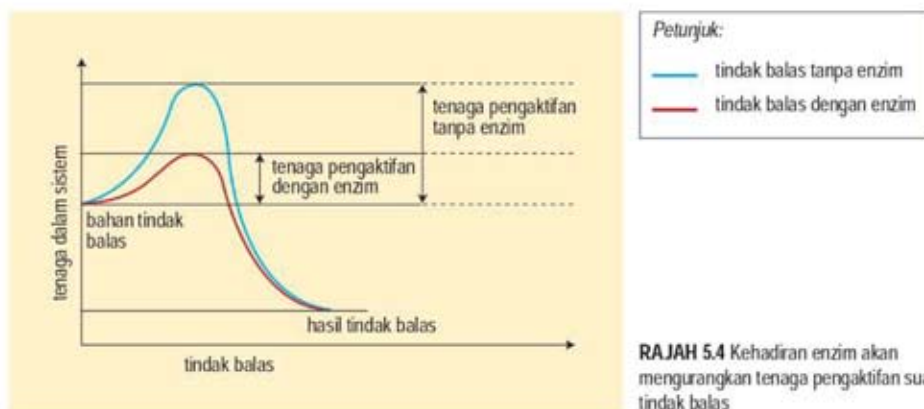
Mekanisme tindakan enzim

Hipotesis 'mangga dan kunci'

Kebanyakan enzim ialah protein kompleks yang terdiri daripada rantai polipeptida yang berlipat-lipat menjadi bentuk tiga dimensi. Bentuk tiga dimensi enzim mempunyai tapak aktif yang mempunyai konfigurasi spesifik dan saling berpelengkap dengan molekul substrat yang spesifik. Penggabungan molekul substrat pada tapak aktif enzim adalah spesifik, seolah-olah satu gabungan 'mangga dan kunci' (Rajah 5.3). Enzim diwakili oleh 'mangga' manakala substrat diwakili oleh 'kunci'.



Kebanyakan tindak balas di dalam sel memerlukan tenaga pengaktifan yang tinggi. **Tenaga pengaktifan** ialah tenaga yang diperlukan untuk memecah ikatan dalam molekul substrat sebelum tindak balas boleh berlaku. Enzim berfungsi mengurangkan tenaga pengaktifan (Rajah 5.4). Dengan itu, kadar tindak balas biokimia dipercepatkan dalam sel.



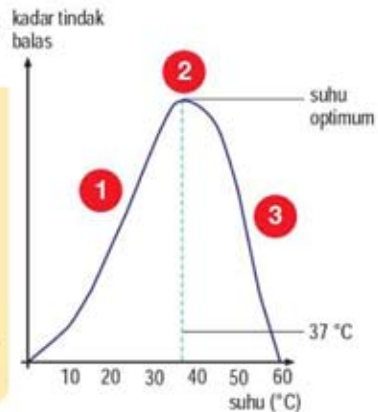
Mekanisme tindakan enzim dan perubahan faktor

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi mekanisme tindakan enzim. Ikatan kimia dalam enzim boleh diubah dengan mudah melalui perubahan kimia dan fizikal persekitaran. Antara faktor tersebut ialah suhu, pH, kepekatan enzim dan kepekatan substrat.

Kesan suhu

Rajah 5.5 menunjukkan kesan suhu terhadap kadar tindak balas biokimia yang dikawal oleh enzim.

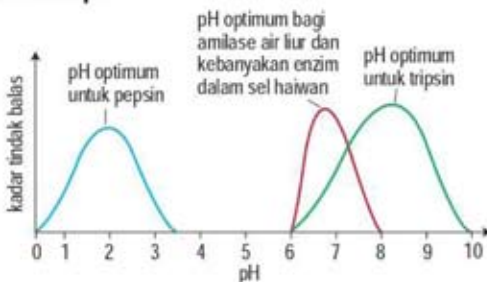
- 1 Pada suhu yang rendah, kadar tindak balas yang dimungkinkan oleh enzim adalah rendah.
 - Apabila suhu meningkat, tenaga kinetik molekul substrat dan enzim turut meningkat. Hal ini meningkatkan **frekuensi perlanggaran berkesan** antara molekul substrat dengan molekul enzim.
 - Kadar tindak balas antara enzim dan substrat meningkat.
 - Bagi setiap kenaikan suhu sebanyak 10 °C, kadar tindak balas yang dikawal oleh enzim akan meningkat sebanyak dua kali ganda sehingga mencapai suhu optimum.



RAJAH 5.5 Kesan suhu terhadap kadar tindak balas enzim

- 2 Pada suhu optimum, tindak balas enzim adalah pada tahap maksimum. **Suhu optimum** untuk tindakan enzim dalam badan manusia ialah 37 °C.
- 3 Selepas mencapai suhu optimum, peningkatan suhu yang seterusnya akan mengurangkan aktiviti enzim dengan cepat sehingga aktiviti enzim berhenti pada suhu 60 °C.
 - Pada suhu ini, enzim temyahsli kerana ikatan kimia dalam molekul enzim terputus pada suhu yang tinggi.
 - Enzim tidak dapat mengekalkan bentuk tiga dimensi. Tapak aktif enzim berubah. Substrat tidak dapat saling berpelengkap dengan tapak aktif enzim.

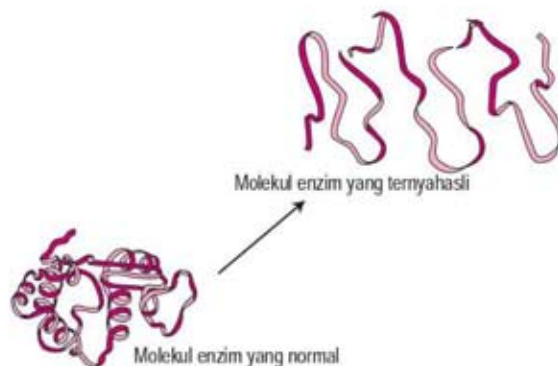
Kesan pH



RAJAH 5.6 Kesan pH terhadap aktiviti enzim pepsin, amilase air liur dan tripsin

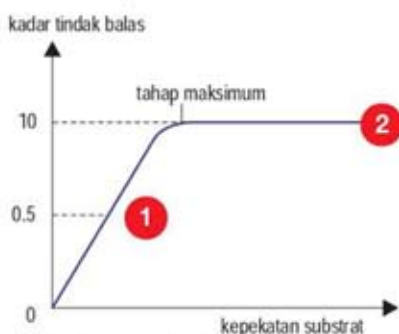
- Aktiviti enzim dipengaruhi oleh pH larutan persekitaran. Pada lazimnya, semua enzim bertindak dengan paling berkesan pada **pH optimum**.
- Kebanyakan enzim berfungsi paling cekap dalam julat pH 6 hingga 8. Misalnya, enzim amilase air liur berfungsi pada pH 6.8.
- Namun, terdapat beberapa pengecualian. Misalnya, enzim pepsin di dalam perut bertindak pada pH optimum dalam julat 1.5 hingga 2.5. Enzim tripsin dalam duodenum pula hanya dapat bertindak dengan baik dalam medium beralkali, iaitu pada pH sekitar 8.5 (Rajah 5.6).

- Perubahan nilai pH mengubah cas (ion H^+) tapak aktif enzim dan permukaan substrat. Ini menyebabkan kompleks enzim-substrat tidak dapat dibentuk.
- Apabila pH persekitaran kembali ke tahap optimum, cas pada tapak aktif dipulihkan. Enzim kembali berfungsi seperti normal.
- Perubahan nilai pH yang ekstrem akan memutuskan ikatan kimia struktur dan mengubah tapak aktif enzim. Enzim ternyahsli (Rajah 5.7).



RAJAH 5.7 Molekul enzim ternyahsli

Kesan kepekatan substrat



RAJAH 5.8 Kesan kepekatan substrat terhadap kadar tindak balas enzim

Sekiranya kepekatan enzim ditetapkan manakala kepekatan substrat ditambah, kadar tindak balas yang dikawal oleh enzim akan meningkat dan seterusnya, produk yang terbentuk juga bertambah (Rajah 5.8).

- 1 • Apabila kepekatan substrat ditambah, peluang untuk perlanggaran berkesan antara molekul substrat dan molekul enzim juga meningkat.
- Kadar tindak balas terus meningkat sehingga mencapai **tahap maksimum**. Kadar tindak balas menjadi malar.
- 2 • Pada tahap maksimum, kepekatan enzim menjadi **faktor pengehad**. Kadar tindak balas hanya dapat ditingkatkan dengan penambahan kepekatan enzim.
- Selepas mencapai tahap maksimum, semua tapak aktif enzim tepu dengan substrat dan terlibat dalam tindak balas pemangkinan.

Kesan kepekatan enzim

- 1 Apabila kepekatan enzim ditambah, kadar tindak balas enzim akan meningkat kerana kehadiran lebih banyak tapak aktif yang tersedia untuk tindakan pemangkinan.
- 2 Sekiranya kepekatan enzim dalam satu tindak balas digandakan, jumlah substrat yang ditukar kepada produk per unit masa juga digandakan dengan syarat bekalan substrat adalah berlebihan.
- 3 Pada tahap maksimum, kepekatan substrat menjadi **faktor pengehad**. Kadar tindak balas hanya dapat ditingkatkan dengan penambahan substrat.



RAJAH 5.9 Kesan kepekatan enzim terhadap kadar tindak balas enzim

Aktiviti 5.1

Mengkaji kesan suhu terhadap aktiviti enzim amilase

Eksperimen

Pernyataan masalah

Apakah kesan suhu terhadap kadar tindak balas enzim amilase?

Hipotesis

Peningkatan suhu meningkatkan kadar tindak balas enzim amilase sehingga suhu optimum. Kadar tindak balas enzim menurun selepas suhu optimum.

Pemboleh ubah

Dimanipulasikan: Suhu

Bergerak balas: Kadar tindak balas enzim amilase

Dimalarkan: Kepekatan amilase, kepekatan ampaian kanji (substrat) dan pH medium tindak balas

Bahan

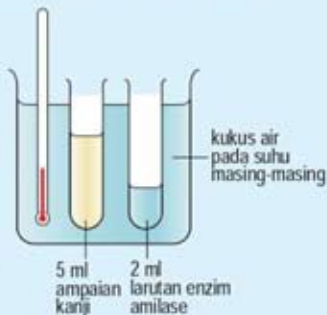
Ampaian kanji 1%, larutan enzim amilase 0.5%, larutan iodin, ais dan air suling

Radas

Bikar, tabung uji, picagari, penitis, rod kaca, jubin putih berlekuk, termometer, penunu Bunsen, tungku kaki tiga, kasa dawai, rak tabung uji, silinder penyukat dan jam randik

Prosedur

- 1 Dengan menggunakan picagari, masukkan 5 ml ampaian kanji 1% ke dalam setiap tabung uji yang berlabel A1, B1, C1, D1 dan E1.
- 2 Dengan menggunakan picagari yang lain, masukkan 2 ml larutan enzim amilase ke dalam setiap tabung uji yang dilabelkan A2, B2, C2, D2 dan E2.
- 3 Tabung-tabung uji A1 dan A2, B1 dan B2, C1 dan C2, D1 dan D2, E1 dan E2, masing-masing dimasukkan ke dalam 5 kukus air yang suhunya ditetapkan pada 20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C dan 60 °C.
- 4 Rendam semua tabung uji selama 5 minit.
- 5 Sementara itu, sediakan sekeping jubin putih berlekuk kering dan titiskan setitis larutan iodin ke dalam lekuk jubin tersebut.
- 6 Selepas 5 minit rendaman, tuangkan ampaian kanji dalam tabung uji A1 ke dalam tabung uji A2. Kacau campuran tersebut menggunakan rod kaca. Mulakan jam randik dengan serta-merta.
- 7 Gunakan penitis untuk mengambil setitis campuran daripada tabung uji A2 dan titiskan dengan segera ke dalam lekuk pertama jubin yang mengandungi setitis larutan iodin (Lekuk yang pertama dianggap sebagai minit sifar).
- 8 Ulang ujian iodin setiap 30 saat. Bilas penitis dengan air di dalam bikar selepas setiap persampelan. Rekodkan masa yang diambil untuk hidrolisis kanji menjadi lengkap, iaitu masa apabila campuran kekal kuning keperangan apabila diuji dengan larutan iodin.
- 9 Rendam semua tabung uji di dalam kukus air masing-masing sepanjang eksperimen. Ulang langkah 5 hingga 8 untuk pasangan tabung uji B1, C1, D1 dan E1.



- 10 Rekodkan keputusan anda dalam jadual yang sesuai. Plotkan graf untuk menunjukkan kadar tindak balas enzim (minit⁻¹) melawan suhu (°C).

Keputusan

Suhu (°C)	Masa untuk hidrolisis kanji menjadi lengkap (minit)	Kadar tindak balas (minit ⁻¹)
20		
30		
40		
50		
60		

Perbincangan

- 1 Mengapakah anda perlu merendam tabung uji di dalam kukus air masing-masing selama 5 minit pada permulaan eksperimen?
- 2 Apakah hasil tindakan amilase terhadap kanji?
- 3 Apakah fungsi larutan iodin?
- 4 Berdasarkan graf yang anda lukis, terangkan kesan suhu terhadap aktiviti enzim.

Kesimpulan

Adakah hipotesis tersebut diterima? Cadangkan satu kesimpulan yang sesuai untuk eksperimen ini.

Aktiviti 5.2

Mengkaji kesan pH terhadap aktiviti enzim pepsin

Eksperimen

Pernyataan masalah

Apakah pH optimum bagi tindak balas enzim pepsin?

Hipotesis

pH 2 paling optimum bagi tindak balas enzim pepsin.

Pemboleh ubah

Dimanipulasikan: pH medium tindak balas

Bergerak balas: Kejernihan atau kekeruhan campuran tindak balas

Dimalarkan: Kepekatan albumen, kepekatan larutan pepsin dan suhu medium tindak balas

Bahan

Ampaian albumen (putih telur), larutan pepsin 1%, asid hidroklorik 0.1 M, larutan natrium hidroksida 0.1 M, kukus air bersuhu 37 °C, kertas pH dan air suling

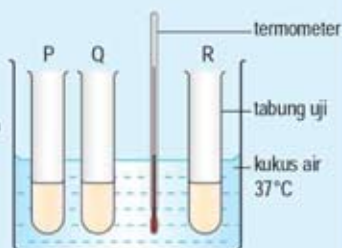
Radas

Bikar, penitis, termometer, tabung uji, picagari 5 ml (tanpa jarum), jam randik, penunu Bunsen, tungku kaki tiga, kasa dawai, termometer dan rak tabung uji



Prosedur

- 1 Sediakan tiga tabung uji dan label sebagai P, Q dan R.
- 2 Masukkan 5 ml ampai albumen ke dalam setiap tabung uji dengan picagari.
- 3 Tambahkan larutan berikut ke dalam setiap tabung uji:
 - P: 1 ml asid hidroklorik 0.1 M + 1 ml larutan pepsin 1%
 - Q: 1 ml air suling + 1 ml larutan pepsin 1%
 - R: 1 ml larutan natrium hidroksida 0.1 M + 1 ml larutan pepsin 1%
- 4 Celup sehelai kertas pH ke dalam setiap tabung uji dan rekodkan pH campuran.
- 5 Masukkan semua tabung uji ke dalam kukus air yang suhunya ditetapkan pada 37 °C selama 20 minit.
- 6 Perhatikan keadaan campuran pada permulaan eksperimen dan selepas 20 minit.
- 7 Rekod keputusan dalam jadual.



Keputusan

Tabung uji	pH	Kejemihan atau kekeruhan campuran	
		0 minit	Selepas 20 minit
P			
Q			
R			

Perbincangan

- 1 Mengapakah tabung uji perlu direndam dalam kukus air yang suhunya ditetapkan pada 37 °C?
- 2 Apakah kesan pH terhadap tindakan pepsin ke atas albumen?
- 3 Bincang keputusan yang diperoleh untuk tabung uji P, Q dan R.

Keputusan

Adakah hipotesis tersebut diterima? Cadangkan satu kesimpulan yang sesuai untuk eksperimen ini.

Praktis Formatif 5.1

- 1 Apakah yang akan berlaku sekiranya ribosom dalam suatu sel pankreas tidak berfungsi?
- 2 Mengapakah suhu badan kita mesti dikekalkan pada suhu 37 °C?
- 3 Apakah pH optimum untuk tindakan enzim pepsin?
- 4 Y ialah enzim yang memungkinkan hidrolisis sukrosa kepada glukosa dan fruktosa. Apakah enzim Y?

5.3

Aplikasi Enzim dalam Kehidupan Harian

Enzim telah lama digunakan secara meluas dalam bidang komersial dan keperluan harian. Enzim yang digunakan diekstrak daripada sumber semula jadi seperti bakteria ataupun dihasilkan secara sintetik.

Enzim tersekat gerak ialah enzim yang bergabung dengan bahan yang lengai dan tak larut untuk meningkatkan rintangan enzim terhadap perubahan faktor seperti pH dan suhu. Melalui cara ini, molekul enzim akan kekal di kedudukan sama sepanjang tindak balas pemangkinan dan kemudiannya mudah diasingkan daripada hasil. Teknologi ini dikenali sebagai **teknologi imobilisasi enzim**. Teknologi ini digunakan dalam pelbagai aplikasi industri (Gambar foto 5.1).

Praktis Formatif 5.2

- 1 Bagaimanakah enzim terhasil?
- 2 Bagaimanakah teknologi imobilisasi enzim membantu mempercepatkan tindak balas yang dimungkinkan oleh enzim?
- 3 Nyatakan contoh-contoh industri yang menggunakan enzim dalam penghasilan produk.



■ Enzim pencernaan digunakan dalam bidang perubatan



■ Enzim laktase dalam susu bebas laktosa



■ Enzim pektinase dan selulase dalam penghasilan jus

■ Enzim amilase, lipase, protease dan selulase dalam bio detergen



■ Enzim tripsin mengeluarkan bulu daripada kulit haiwan untuk produk kulit



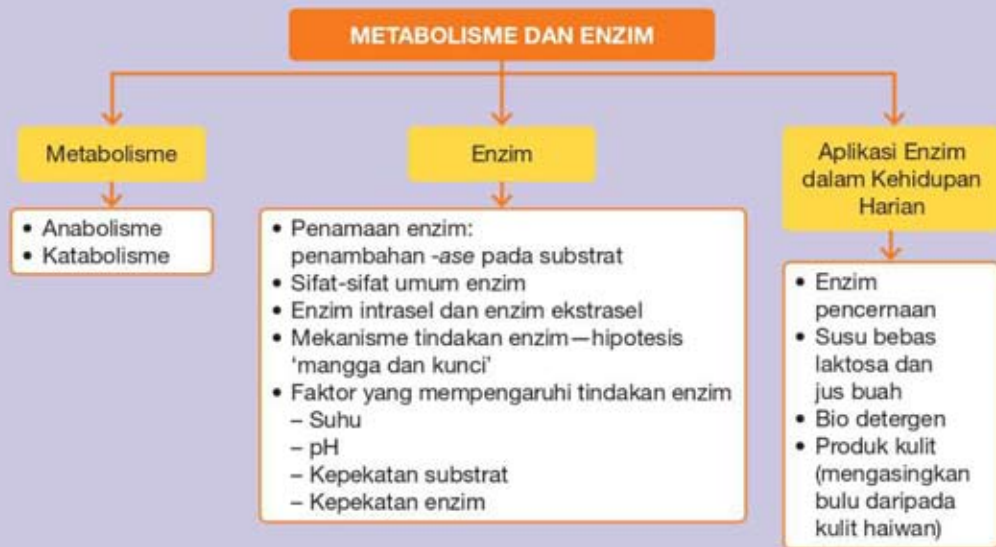
■ Enzim protease mengasingkan kulit ikan



GAMBAR FOTO 5.1 Teknologi imobilisasi enzim digunakan untuk pelbagai aplikasi industri



Rumusan



Refleksi Kendiri

Adakah anda telah menguasai konsep penting berikut?

- Jenis-jenis metabolisme
- Sifat-sifat umum enzim
- Mekanisme tindakan enzim
- Faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme tindakan enzim
- Aplikasi enzim dalam kehidupan harian



Praktis Sumatif 5



1 Sesetengah tukang masak kadang-kadang membalut daging dengan daun betik dan daging tersebut diperap selama 5 jam sebelum dimasak. Apakah tujuan membalut dengan daun betik?



2 Mengapakah epal yang telah dididihkan selepas dikupas tidak bertukar menjadi warna perang?



3 (a) Enzim digunakan dalam industri dan kehidupan harian. Terangkan penggunaan enzim untuk mengekstrak agar-agar daripada rumpai laut.

(b) Nyatakan satu kegunaan lipase dalam industri makanan.

4 (a) Nyatakan dua sifat enzim.

(b) Jelaskan mengapa hanya substrat tertentu dapat bergabung dengan enzim.

(c) (i) Apakah hipotesis yang boleh digunakan untuk menjelaskan mekanisme tindakan enzim? Dalam hipotesis ini, apakah yang mewakili struktur enzim dan struktur substrat?

(ii) Apakah ciri enzim yang boleh menjelaskan hipotesis ini?

Soalan Esei



5 (a) Sekiranya anda merupakan seorang pengusaha makanan, cadangkan satu enzim yang boleh anda gunakan dalam pemprosesan daging dan ikan. Nyatakan fungsi enzim ini.

(b) Bincangkan bagaimana sifat enzim mempengaruhi tindakannya.

Sudut Pengayaan



6 Enzim yang hadir dalam strain bakteria yang hidup di kawasan mata air panas boleh diekstrak untuk ditambahkan ke dalam serbuk pencuci pakaian. Cadangkan mengapa enzim daripada bakteria ini sesuai digunakan sebagai serbuk pencuci pakaian.



7 Mengapakah keracunan sianida menyebabkan kematian serta-merta?



8 Buah-buahan segar boleh diproses untuk menghasilkan jus. Buah-buahan dihancurkan dan diperah sebelum jusnya dapat diekstrak. Sel tumbuhan mempunyai dinding selulosa yang kuat. Akan tetapi, sekiranya enzim yang mengandungi enzim pektinase digunakan, banyak jus dapat diekstrakkan. Berdasarkan pengetahuan ini, cadangkan satu eksperimen makmal bagi memperoleh lebih banyak jus buah berbanding dengan kaedah pemerahan.



Jawapan lengkap boleh didapati dengan mengimbas kod QR yang disediakan