

biologi sel

by Marheny Lukitasari

Submission date: 09-Aug-2019 05:33PM (UTC-0700)

Submission ID: 1158989506

File name: 2. BUKU BIOLOGI SEL.pdf (4.27M)

Word count: 41967

Character count: 275787

Marheny Lukitasari

Biologi Sel



PENGABDIAN & PERCEKTIKARAN

BIOLOGI SEL

Marheny Lukitasari



Universitas Negeri Malang
d/h IKIP Malang, Anggota IKAPI No. 059/JTI/89
Jl. Semarang 5 (Jl. Gombong 1) Malang, Kode Pos 65145
Kotak Pos 13, MLG/IKIP Telp. (0341) 553959, 562391, 551312
(4 saluran) psw. 453; Faks. (0341) 566025

Lukitasari, M.

**Biologi Sel—Oleh: Marheny Lukitasari.—Cet. I,—Malang:
Universitas Negeri Malang, 2015.**

xvii, 201 hlm; **23 cm**

ISBN: 978.979.495.760.8

**Biologi Sel
Marheny Lukitasari**

- **Lay-out** : Tita
- **Cover** : Yusuf

-
- **Hak cipta yang dilindungi:**

Undang-undang pada : Pengarang
Hak Penerbitan pada : Universitas Negeri Malang
Dicetak oleh : Universitas Negeri Malang

Dilarang mengutip atau memperbanyak dalam bentuk apapun
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Universitas Negeri Malang

d/h IKIP Malang, Anggota IKAPI No. 059/JTI/89
Jl. Semarang 5 (Jl. Gombong 1) Malang, Kode Pos 65145
Kotak Pos 13, MLC/IKIP Telp. (0341) 553959, 562391, 551312
(4 saluran) psw. 453; Faks. (0341) 566025

-
- **Cetakan I : 2015**
-

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT atas tersusunnya buku penunjang perkuliahan *Biologi Sel* ini sebagai bagian dari pengembangan bahan ajar yang disusun penulis. Buku ajar ini merupakan buku yang memiliki keistimewaan dengan kekhususan penjabaran sesuai dengan topik yang disajikan dalam perkuliahan Biologi Sel, dengan banyak contoh penerapan yang diupayakan memiliki kebermaknaan di dalamnya. Secara umum buku ini disusun berdasarkan tiga buku rujukan utama yaitu Lodish, et al. 2010. *Molecular Cell Biology*. Fifth Edition, Campbell Reece-Mitchell. 2000. *Biologi*. Erlangga. Jakarta dan Sutiman, dkk., 2013. *Cell Biology*. Ada banyak pihak yang mendukung terselesainya buku ini, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada yang terhormat

1. Rektor IKIP PGRI Madiun, atas kesempatan dan ijin untuk melaksanakan penelitian dan menyelesaikan buku Biologi Sel ini.
2. Prof. Herawati Susilo, Prof. AD Corebima dan Dr. Ibrohim yang mendorong adanya bahan ajar berkualitas, yang mendukung proses pembelajaran.
3. Prof. Sutiman B. Sumitro, DU, D.Sc. dan Dr. Umie Lestari, M.Si yang banyak memberikan saran demi kebaikan buku ini.
4. Bapak, Ibu, suami dan anak-anakku tersayang.
5. Rekan-rekan sejawat dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhirnya, semoga akan banyak manfaat yang dapat dipetik dengan keberadaan buku ajar Biologi Sel ini, terutama bagi mahasiswa sebagai pengguna utama. Penulis tetap mengharapkan banyak masukan dari pembaca demi perbaikan pada buku ini pada edisi revisi berikutnya.

Madiun, Januari 2015

Penulis

HALAMAN SAMPUL	i
PENGARANG.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	xi

BAB I. PENDAHULUAN

A. Pengertian Biologi Sel	1
B. Teknis Mempelajari Sel	2
C. Manfaat dan Kerugian Mempelajari Biologi Sel	10

BAB 2. KOMPONEN KIMIAWI SEL

A. Konsep Ikatan Kimia Molekul dalam Biologi Sel	14
B. Peran Air dan Komponen Anorganik Sel	17
C. Komponen Organik Sel	21

BAB 3. MEMBRAN SEL

A. Struktur Membran Sel	27
B. Permeabilitas Membran Sel	32
C. Transport Zat Melalui Membran Sel	34

BAB 4. SISTEM ENDOMEMBRAN; ORGANEL PENDUKUNG DAN MEKANISMENYA

A. Sistem Endomembran	39
B. Retikulum Endoplasma	41
C. Aparatus Golgi	42
D. Lisosom	44

BAB 5. SITOSKELETON

A. Sitoskeleton	47
B. Mikrotubul	49
C. Struktur dan Fungsi Filamen Aktin (Mikrofilamen)	51
D. Struktur dan Fungsi Filamen Intermediate	55
E. Silia dan Flagellata	56

BAB 6. MITOKONDRIA DAN KHLOROPLAS

A. Persamaan dan Perbedaan Mitokondria dan Khlороplас	60
B. Struktur dan Fungsi Mitokondria	61

C. Struktur dan Fungsi Khloroplas	65
BAB 7. INTI DAN MATERI GENETIK	
A. Nukleus atau Inti Sel	70
B. Materi Genetik	71
C. Replikasi DNA	77
BAB 8. RIBOSOM DAN SINTESIS PROTEIN	
A. Ribosom sebagai Organel untuk Sintesis Protein	83
B. Mekanisme Sintesis Protein	85
BAB 9. SIKLUS SEL; MITOSIS DAN MEIOSIS	
A. Siklus Sel	94
B. Mitosis	94
C. Meiosis	97
D. Perbandingan Mitosis dan Meiosis	100
E. Kanker	104
BAB 10. PENYELENGGARAAN PROSES HIDUP ORGANISME MULTISELULER	
A. Mekanisme Interaksi dan Komunikasi Antar Sel	108
B. Desmosom	112
C. Tight Junction	113
D. Gap Junction	114
E. Interaksi dan Komunikasi pada Sel-sel Tumbuhan	116
BAB 11. UMUR SEL	
A. Apoptosis Merupakan Kematian Sel yang Terprogram	119
B. Nekrosis Merupakan Kematian Sel yang berbeda dengan Apoptosis	123
C. Hubungan Kematian Sel dengan Penuaan atau Ageing	124
BAB 12. STEM CELL DAN REGENERASI JARINGAN	
A. Definisi <i>Stem Cell</i>	131
B. Kultur Sel Embrio dapat Berdiferensiasi Menjadi Banyak Tipe Sel	133
C. Perkembangan <i>stem cell</i> untuk Pengobatan	137
D. Etika, Moral, dan Nilai dalam Penggunaan <i>Stem Cell</i>	139
DAFTAR RUJUKAN	142

Gambar		Halaman
1.1	Sel prokariotik yang lebih sederhana dibanding sel eukariotik	2
1.2	Organisasi kehidupan tingkat individu dan sel dengan berbagai bentuk, ukuran, dan fungsi	2
1.3	Mikroskop yang dipergunakan untuk mengamati ultrastruktur sel	3
1.4	Resolusi dalam mengamati mitokondria dengan mikroskop	5
1.5	Teknik pewarnaan yang dipergunakan untuk mengamati sel	5
1.6	Fraksionasi sel	7
1.7	Pemurnian protein dari ekstrak sel dengan gel elektroforesis	8
1.8	SDS <i>polyacrilamid</i> gel electrophoresis berdasarkan berat molekul	9
1.9	Pengamatan sel dengan pewarnaan fluoresence V2A eks 435 pada sel penderita diabetes	10
1.10	Pathway pada sel yang kompleks	11
2.1	Ikatan kimia kehidupan	15
2.2	Ikatan geometri pada karbon secara kovalen dengan empat atau tiga atom yang berbeda	16
2.3	Keberadaan unsur mineral yang berikatan dengan molekul lain dalam sel	20
2.4	Struktur sekunder protein dengan adanya ikatan bersuma mineral lain (Ca^{2+} dan Zn^{2+})	21
2.5	Monosakarida atau gula yang akan saling berikatan melalui ikatan glikosidik	22
2.6	Struktur fosfolipid dengan kepala hidrofilik (polar) dan dua ekor yang hidrofobik	23
2.7	Empat tingkatan struktur protein	24
3.1	Gambaran membran <i>erythrosit</i> dengan dua polar layer yang nampak	27
3.2	<i>Phosphatidilcholine</i> , salah satu tipe fosfogliserida	28
3.3	Gambaran struktur fosfolipid dengan kemungkinan tiga struktur, apabila diletakkan pada medium air	28
3.4	Kondisi protein yang berasosiasi dengan membran bilayer lipid. protein integral akan menjangkau bilayer lipid. Protein peripheral berasosiasi dengan membran melalui ikatan nonkovalen dengan protein integral atau lipid	30
3.5	Struktur protein penyusun biomembran	31
3.6	Permeabilitas membran sel terhadap molekul. Bilayer lipid permeabel untuk molekul kecil yang hidrofobik dan polar, serta sedikit permeabel terhadap air dan urea. Pada dasarnya impermeabel terhadap ion dan molekul besar yang polar	32
3.7	Efek konsentrasi ion eksternal dalam air yang akan melintasi membran plasma	33
3.8	Protein transport yang terdapat pada membran sel	35
3.9	Mekanisme masuknya makromolekul untuk dicerna lisosom dengan	

endositosis.....	37
4.1. Protein transport yang melewati jalur sekretory dapat divisualisaikan dengan mikroskop fluorecense dengan sel yang menghasilkan protein dan kemudian ditandai dengan GFP.....	39
4.2. Karakteristik sel dalam mensekresikan protein untuk fungsi tertentu (hormon, antibodi).....	40
4.3. Elektron mikrograf ribosom pada REK.....	42
4.4. Model kompleks golgi dan konstruksi dengan mikroskop elektron tiga dimensi.....	43
4.5. Gambaran jalur protein dalam sel eukariotik. DNA dalam inti akan mengkode melalui mRNA yang ditranferkan menuju ribosom dalam sitosol.....	45
5.1. Tiga tipe filamen penyusun sitoskeleton: filamen intermediate, mikrotubul, dan mikrofilamen.....	48
5.2. Pewarnaan dengan <i>fluorochrome</i> yang dilabelkan pada antibodi menunjukkan distribusi keratin dan lamin yaitu tipe filamen intermediat, yang ada di dalam sel.....	48
5.3. Hubungan aktin dan filamen intermediate pada sitoskeleton dan fungsinya.....	49
5.4. Hasil pengamatan mikroskop elektron yang menampakkan mikrotubul dan filamen intermediate pada sel axon neuronal.....	50
5.5. Struktur mikrotubul.....	51
5.6. Polimerisasi G-aktin melalui 3 fase.....	52
5.7. Penelitian untuk menunjukkan polaritas dari filamen aktin.....	52
5.8. Gambaran sel epitel pada usus.....	54
5.9. Struktur sarcomer.....	54
5.10. Pengamatan dengan teknik mikroskopik untuk memvisualisasikan struktur mikrotubul.....	57
5.11. Struktur <i>axoneme</i>	57
6.1. Teori evolusi dari mitokondria dan khloroplas berdasarkan hipotesis endosimbiosis.....	61
6.2. Gambaran mikroskop elektron untuk mitokondria. Dan model komputer gambaran tiga dimensi mitochondria yang berasal dari otak ayam.....	62
6.3. Teknik pewarnaan ganda pada banyak mitokondria dan molekul DNA yang sedang tumbuh dan terdapat pada sel <i>Euglena gracilis</i>	62
6.4. Kesimpulan langkah oksidasi <i>aerobic pyruvat</i> dan asam lemak dalam mitokondria.....	64
6.5. Gambaran mikroskop elektron khloroplas.....	65
6.6. Struktur seluler daun dan khloroplas.....	68
7.1. Gambaran elektron mikrograf dari nukleus stem cel tulang.....	71
7.2. Tahapan-tahapan pengemasan DNA linier menjadi sebuah kromosom.....	72
7.3. Watson dan Crick pada tahun 1950-an. James Watson (lahir 1928) dan Francis Crick (lahir 1916) dengan model bagian molekul DNA.....	73
7.4. Skema gambaran mekanisme kerja dan hubungan antara DNA-RNA dalam menjalankan proses kehidupan melalui sintesis protein.....	74
7.5. Basa-basa asam nukleat.....	75
7.6. Struktur DNA double helix.....	76

7.7.	Hasil tampilan mikroskop elektron, DNA double helix dan single strand.....	77
7.8.	Gambaran mekanisme replikasi DNA secara semi konservatif berdasarkan percobaan Meselson-Stahl.....	78
7.9.	<i>Origin of replication</i> (pangkal replikasi).....	79
7.10.	Polimerisasi dari ribonukleotid oleh RNA polimerase selama transkripsi.....	80
7.11.	Diagram skema <i>leading-strand</i> dan <i>lagging-strand</i> pada sintesis DNA pada garpu replikasi.....	84
8.1.	Model struktur umum ribosom pada prokariot dan eukariotik.....	85
8.2.	Pengamatan dengan mikroskop pada resolusi rendah menunjukkan ribosom pada subunit 50S, 30S, dan 70S.....	86
8.3.	Informasi genetik dalam DNA yang diubah menjadi sekuen asam amino penyusun protein melalui banyak langkah.....	87
8.4.	Tiga tahapan penting dalam transkripsi.....	88
8.5.	Tiga jenis RNA yang terlibat dalam sintesis protein. RNAm akan mentranslasi protein bekerjasama dengan RNAt dan ribosom.....	89
8.6.	Proses perpanjangan rantai polipeptida selama translasi pada sel eukariotik...	90
8.7.	Keseluruhan proses dasar molekuler genetik, dengan proses sintesis protein. Mekanisme dasar hubungan DNA dan RNA dalam memproduksi protein (sintesis protein).....	92
9.1.	Siklus hidup pada sel eukariotik dan perilaku kromosom.....	95
9.2.	Gambaran dengan model dan percobaan dari proses regenerasi epitelium usus dari stem sel dan berkembang selama tahapan <i>differentiasi</i>	96
9.3.	Faktor penyebaran pada sel-sel mitotik dapat mengakibatkan mitosis dan sel berada pada fase interfase.....	97
9.4.	Selama mitosis dengan adanya replikasi kromosom, masing-masing terdiri dari dua kromatid saudara yang mana akan mengisi dua sel anak yang terbentuk.....	97
9.5.	Tahapan dari mitosis dan sitokinesis pada sel hewan.....	98
9.6.	Mitosis yang terjadi pada tumbuhan tingkat tinggi.....	99
9.7.	Meiosis sel dengan replikasi kromosom, masing-masing terdiri dari dua kromatid saudara, dan terletak pada tengah sel, dan masing-masing sel anak akan menerima kromosom homolog yang diwarisi dari ibu dan ayah pada masing-masing tipe morfologi kromosom selnya.....	101
9.8.	Proses meiosis.....	102
9.9.	Pada hewan, meiosis yang terjadi pada sel telur dan sel sperma akan menghasilkan gamet.....	103
9.10.	Pengamatan preparat apus darah dari seseorang yang menderita leukemia.....	105
9.11.	Perkembangan sel-sel normal dan sel-sel kanker.....	106
10.1.	Signal akan mengatur dan menyebabkan perubahan aktivitas keberadaan protein dalam jumlah dan tipe protein yang dihasilkan sel.....	109
10.2.	Gambaran secara umum interaksi yang terjadi antar sel dan juga sel dengan matriks ekstraseluler.....	110
10.3.	Prinsip tipe junction sel yang terhubung pada sel-sel epitel kolumnar usus...	112
10.4.	Model skema dari komponen desmosom.....	113

10.5.	Gambaran skematik yang menunjukkan junction ketat yang terdiri dari formasi protein pada sel yang berbatasan.....	114
10.6.	Junction celah yang karakteristiknya nampak dengan pengamatan menggunakan mikroskop elektron.	115
10.7.	Model strukur molekuler junction ketat.	116
10.8.	Struktur plasmodesmata.....	117
11.1.	Apoptosis sel dengan pecahnya sel menjadi bagian-bagian lebih kecil.....	119
11.2.	Gambaran sel yang mengalami apoptosis.....	120
11.3.	Perbedaan kondisi sel saat mengalami apoptosis dan nekrosis.....	123
12.1.	Gambaran awal, silsilah, dan kematian sel.....	131
12.2.	Skema pola pembelahan sel dari <i>stem cell</i>	133
12.3.	Formasi dari diferensiasi sel-sel darah yang berasal dari <i>stem cell hematopoetic</i> dalam sumsum tulang.....	135
12.4.	Fase embrionik (morula) yang merupakan stem cell embrionik dan mampu berkembang menjadi individu yang utuh.....	136
12.5.	Contoh <i>chimera</i> , dengan tikus yang berisi sel-sel yang berasal dari manusia dan hewan.....	140

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1.1.	Besaran yang biasa digunakan dalam mempelajari sel.....	5
1.2.	Batas-batas pengamatan sistem biologi pada berbagai ukuran.....	6
5.1.	Jenis-jenis myosin yang dibedakan berdasarkan berat molekul, struktur, ukuran, dan aktivitas pergerakannya dalam sel.....	53
5.2.	Filamen intermediat (FI) pada mamalia. Menunjukkan variasi dalam jenis dan berat molekul (MW), lebih dari 15 isoforms terdiri dari keratin asam dan basa yang ditemukan.....	56
7.1.	Protein-protein utama dari replikasi DNA beserta fungsinya.....	81
11.1.	Ciri-ciri sel yang mengalami apoptosis dan necrosis	124
12.1.	Perkembangan jaringan pada tahap awal embrionik	137

BAB 1

PENDAHULUAN

A. PENGERTIAN BIOLOGI SEL

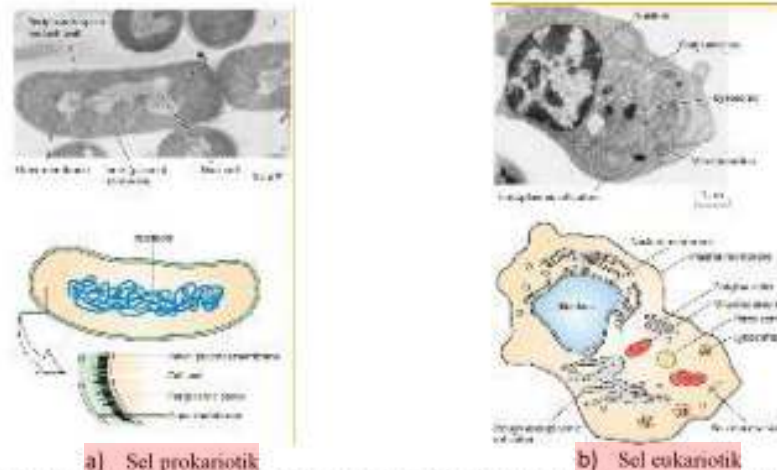
Sel yang selama ini dikenal sebagai unit terkecil dari organisasi tubuh makhluk hidup, merupakan bagian penting dalam perkembangan pembelajaran biologi khususnya terkait dengan organisme. Sebagai unit terkecil, maka sel mewakili sistem kehidupan dengan adanya DNA dan organel-organel di dalamnya sehingga mampu melaksanakan program kehidupan itu sendiri. Karena sel mampu melaksanakan sistem kehidupan maka sel memiliki sifat otonom dan mampu berkembang apabila dikulturkan dengan media yang sesuai untuk menunjang kehidupannya. Dari organisme multiseluler, apabila diambil beberapa sel dan diletakkan dalam media cair yang tidak terhubung satu sama lain, maka sel-sel tersebut tidak akan mampu berkembang secara mitosis. Tetapi apabila sel-sel tersebut dikulturkan pada tempat yang sempit dan terbatas (*petridish*) dengan dipenuhinya materi untuk hidup, maka sel-sel tersebut akan mampu berkembang biak secara mitosis. Hal tersebut menunjukkan bahwa sel-sel yang dikulturkan dan berkembangbiak dengan mitosis membutuhkan koordinasi dan saling terhubung sehingga mewakili konsep interaksi sosial antar sesamanya. Dengan demikian sel dapat tersusun berkelompok dan berdiferensiasi menjadi banyak jenis jaringan yang akan berkoordinasi membentuk organ. Organ-organ tertentu akan membentuk sistem organ dan akhirnya beberapa sistem organ secara bersama membentuk organismemultiseluler.

Selain berkoordinasi untuk menunjang sistem kehidupan pada organisme multiseluler, maka kita juga mengenal sel uniseluler yang secara individu mampu menunjukkan ciri-ciri kehidupan termasuk berkembang dengan cara membelah, misalnya berbagai jenis protozoa. Berbeda dengan sel penyusun organisme multiseluler yang membutuhkan interaksi dan komunikasi dalam menjalankan fungsi hidupnya, maka sel-sel uniseluler merupakan organisme soliter yang secara mandiri dapat berkembang biak. Dengan dimilikinya sifat tersebut, maka seringkali didapati bahwa organisme pioner adalah sel-sel uniseluler yang prokariotik.

Secara umum, maka sel akan terbagi menjadi dua tipe penting yang berdasarkan struktur yaitu: sel prokariotik dan sel eukariotik. Sel prokariotik merupakan sel dengan struktur sederhana yang meliputi membran plasma, tidak memiliki inti sel, dan hanya memiliki organel sel yang relatif sederhana. Prokariotik sangat beragam dengan tingkat adaptasi yang bervariasi. Banyak sel prokariotik dapat ditemukan pada kedalaman 7 mil dalam laut dan 40 mil dari ketinggian atmosfer.

Sel eukariotik berbeda dari prokariotik, terutama dengan dimilikinya nukleus yang dibungkus dengan membran nukleus dan organel-organel sel, seluruh daerah antara nukleus dan membran sel disebut sitoplasma, yang terdiri dari medium semi cair yang disebut sitosol. Organel-organel sel terletak dalam sitosol yang memiliki bentuk dan

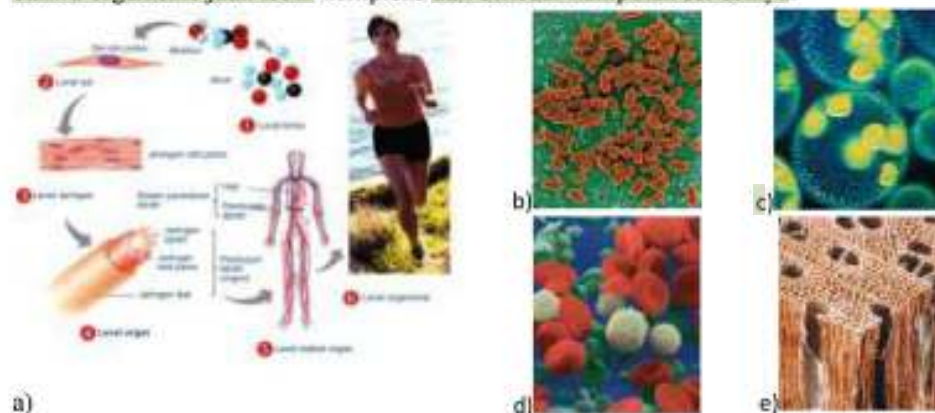
fungsi khusus untuk menunjang metabolisme. Perbedaan yang dimiliki antara sel prokariotik dan eukariotik dapat dicermati pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1.1. Sel prokariotik yang lebih sederhana dibanding organisasi internal sel eukariotik.

Sumber: Lodish, 2010.

Aktivitas organisme multiseluler ternyata merupakan refleksi sifat-sifat sel-sel yang menyusunnya. Organisme mengambil makanan, mencerna, mengasimilasi, dan melepaskan bahan yang tidak diperlukan, mengambil oksigen dan melepaskan karbondioksida. Di dalam tubuh organisme, kadar garam diatur sedemikian rupa agar tetap dalam keadaan homeostasis; tumbuh, berkembang biak, bergerak, dan bereaksi terhadap rangsangan dari luar, menggunakan energi untuk mengadakan aktivitas, mewariskan sifat-sifat genetik kepada keturunannya, dan akhirnya mati. Suatu organisme merupakan jumlah atau kumpulan bagian-bagiannya, dan aktivitasnya merupakan jumlah aktivitas sel-sel yang menyusunnya. Namun, dapat pula dikatakan bahwa organisme jauh lebih kompleks dari sekedar kumpulan sel-selnya.



Gambar 1.2. Organisasi kehidupan tingkat individu. Sumber: <http://www.ams.maricopa.edu>. Sel dengan berbagai bentuk, ukuran dan fungsi. a) *eubacteria*, b) koloni alga volvox, c) sel darah, d) sel-sel tumbuhan dalam jaringan vaskuler. Sumber: Lodish, 2010.

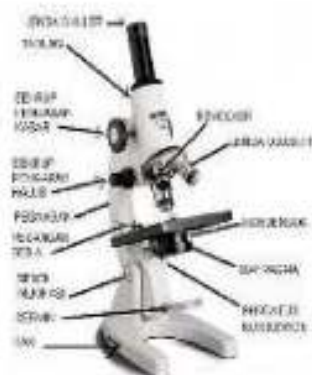
Berdasarkan banyak penelitian yang dilakukan terhadap sel, maka dapat diketahui bahwa sel membutuhkan komunikasi untuk menjalankan proses biologi dan fisiologisnya. Melalui banyak cara untuk mengamati sel, saat ini perkembangan penelitian menunjukkan bahwa ciri sel adalah 1) mampu meregenerasi, 2) mampu beradaptasi, 3) membutuhkan makanan untuk menjalankan proses hidup, 4) dan pada sel-sel pada organisme multiseluler membutuhkan organisasi dan interaksi untuk menjalankan fungsi biologi dan fisiologisnya.

Sel awalnya dipelajari berdasarkan strukturnya dengan alat utama adalah mikroskop, dan kemudian dikenal dengan sitologi sebagai cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang struktur sel. dalam perkembangannya, mempelajari sel akan terintegrasi juga antara struktur dan biokimia sel yang meliputi kajian tentang molekul dan proses kimiawi metabolismenya. Mempelajari proses biokimiawi sel dibutuhkan teknis lain yang tidak hanya mengandalkan penggunaan mikroskop tetapi dengan teknik tertentu seperti fraksionasi sel.

B. TEKNIS MEMPELAJARI SEL

1) Mikroskop dan perkembangannya

Perkembangan sel, diawali dengan diamatinya obyek hidup menggunakan mikroskop oleh ilmuwan Anthony van Leeuwenhoek (1632-1723), yang meneliti organisme mikroskopis seperti Protozoa dan Rotifera yang diberi nama "*animaculus*", berbagai jenis bakteri, meliputi bakteri basil dan bakteri spiral; mengamati sperma pada manusia, katak, anjing, dan ikan. Selain itu juga pada pergerakan sel-sel darah pada kapiler kaki katak dan daun telinga kelinci. Penelitian tentang sel terus berkembang dengan semakin disempurnakannya alat penunjang utama mikroskop mulai dari *light microscope* (LM) hingga mikroskop berbasis elektron di awal tahun 1950-an, yang semakin berkembang dengan ditemukannya mikroskop elektron. Bentuk-bentuk mikroskop sebagai alat utama untuk mengamati struktur sel dapat dicermati Gambar 4.



a) Mikroskop monokuler



b) Mikroskop cahaya

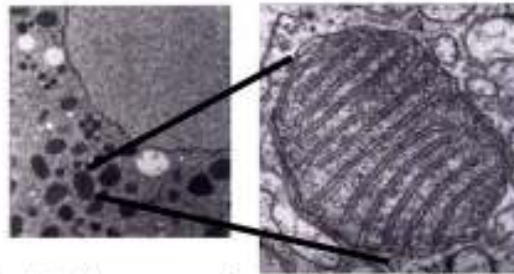


Gambar 1.3. Mikroskop yang dipergunakan untuk mengamati ultrastruktur sel. a) mikroskop monokuler, b) mikroskop cahaya, dan c) mikroskop elektron (TEM).

Dua jenis mikroskop yang sangat berperan adalah mikroskop elektron transmisi (*transmission electron microscope*, TEM) dan mikroskop elektron payar (*scanning electron microscope*, SEM). Mikroskop elektron memfokuskan berkas elektron melalui spesimen yang diamati sebagai pengganti cahaya tampak. TEM menggunakan elektromagnet sebagai lensa untuk memfokuskan dan memperbesar bayangan dengan cara membelokkan jalan elektronnya. Bayangan yang terbentuk akhirnya difokuskan pada layar supaya dapat dilihat atau difokuskan pada film fotografik. TEM merupakan mikroskop yang utama untuk mengkaji ultrastruktur internal sel. SEM seperti TEM juga berfungsi untuk melihat permukaan spesimen secara rinci, dimana berkas elektron akan memancarkan permukaan sampel yang biasanya dilapisi dengan film emas tipis. SEM memiliki kedalaman medan yang besar sehingga menghasilkan bayangan yang tampak seperti tiga dimensi.

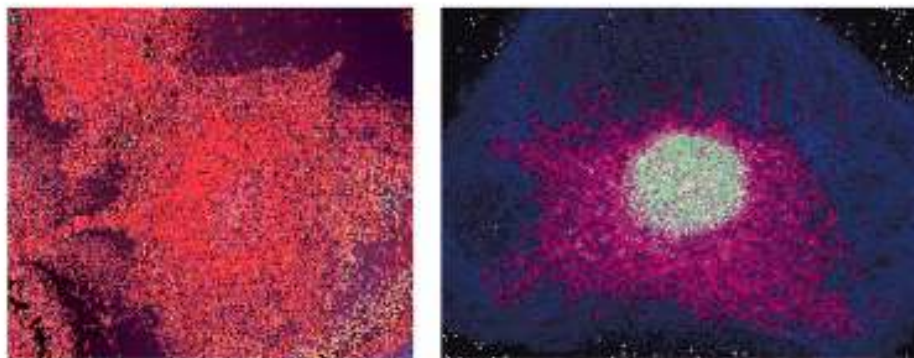
Mikroskop elektron memiliki kelebihan dalam hal mengamati bagian yang tidak nampak diamati dengan mikroskop cahaya biasa. Akan tetapi kelemahan mikroskop elektron hanya bisa mengamati spesimen sel yang mati, serta dihasilkannya artefak-artefak yang sebenarnya tidak ditemui dalam sel hidup. Sedangkan mikroskop cahaya memiliki keunggulan dengan dapat mengamati sel hidup meskipun dengan perbesaran yang lebih rendah dibandingkan mikroskop elektron.

Pengamatan dengan menggunakan mikroskop pada dasarnya merupakan prinsip visualisasi terhadap obyek yang diamati, dalam hal ini adalah sel. Hal terpenting adalah bagaimana kemampuan mikroskop tersebut dengan berbagai teknik memiliki kemampuan untuk mampu memisahkan bagian-bagian yang perlu diamati dari sel (resolusi atau daya pisah). Oleh karena itu, dalam rangka memisahkan bagian-bagian pada obyek dan meningkatkannya resolusi dapat dilakukan beberapa teknik seperti pewarnaan kontras pada bagian yang akan diamati dan pencahayaan yang sesuai, seperti nampak pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4. Resolusi dalam mengamati mitokondria. Gambar sebelah kiri menunjukkan jumlah mitokondria yang cukup banyak dalam sel, serta gambar kanan menunjukkan sebuah mitokondria yang diperbesar sehingga nampak membran dalamnya yang berlekuk. (Sumber: Sumitro, Lab Biologi molekuler, Unibraw, 2013)

Proses pewarnaan juga merupakan teknik yang sangat penting dalam mengamati sel dan organel-organelnya. Dengan teknik-teknik tertentu proses pewarnaan akan mampu menunjukkan sel dan bagian-bagiannya, seperti contoh sel sebagai berikut:



Gambar 1.5. Teknik pewarnaan yang dipergunakan untuk mengamati sel. a) sel endotel pada paru-paru yang diwarnai dengan mitotracker dan diamati dengan mikroskop cahaya, b) sel-sel endotel pusat manusia diamati dengan pewarnaan dan gambaran laser, nampak mikrotubul (biru), mitokondria (merah) dan nukleus (hijau). (Sumber: Sumitro, Lab Biologi molekuler, Unibraw, 2013).

Penggunaan mikroskop sangat esensial untuk mengamati *sitologi* sebagai kajian struktur sel yang sangat mendasar. Dalam perkembangannya, sitologi tidak cukup untuk mempelajari kompleksitas sel sehingga terus berkembang menjadi cabang ilmu Biologi baru sebagai Biologi Sel dan juga Biologi Molekuler. Ukuran sel yang mikroskopis menjadikan pembatas dalam pengamatan sel, sehingga kisaran perbandingan besaran untuk pengamatan sel dapat dicermati pada Tabel 1. berikut ini:

Tabel 1.1. Besaran Pengukurab untuk Mempelajari Sel (Sheeler & Bianchi, 1983)

1 meter	(m)	=	39,4 inci	(in)
1 meter	(m)	=	100 centimeter	(cm)
1 centimeter	(cm)	=	10 milimeter	(mm)
1 milimeter	(mm)	=	1000 mikrometer atau micron	(μ m)
1 mikro meter	(μ m)	=	1000 nanometer atau milimikron	(nm)
1 nanometer	(nm)	=	10 Amstrong	($\text{\AA}$)

Tabel 1 menjelaskan perbandingan perbesaran yang dapat dipergunakan sebagai acuan untuk pengamatan sel. Sel bakteri terkecil yang disebut mikoplasma memiliki diameter antara 0,1 sampai 1,0 μm . Sedangkan semua bakteri rata-rata memiliki besar 10 kali mikoplasma sehingga berukuran sekitar 1-10 μm . Untuk sel eukariotik memiliki ukuran lebih besar, yaitu 10-100 μm , sehingga 10 kali lebih besar dibandingkan bakteri yang prokariotik. Berdasarkan besaran obyek tersebut, maka batas pengamatan pada obyek biologi dapat diklasifikasikan sesuai Tabel 2.

27

Tabel 1.2. Batas-batas pengamatan sistem biologi pada berbagai ukuran (De Robertis *et al.*, 1975)

Ukuran (size)	Bidang	Struktur	Metode
> 0,1 mm atau 100 μm	Anatomi	Organ	mata dan lensa sederhana
100 μm – 10 μm	Histologi	Jaringan	Mikroskop cahaya
10 μm – 0,2 μm atau 200 nm		Bakteri	Mikroskop cahaya
200 nm – 1 nm	Morfologi, Submikroskopis, Ultra struktur, Biologi molekuler	Komponen-komponen sel, virus	Mikroskop polarisasi, mikroskop elektron
< 1 nm	Molekul dan atom	Susunan atom	Difraksi sinar X

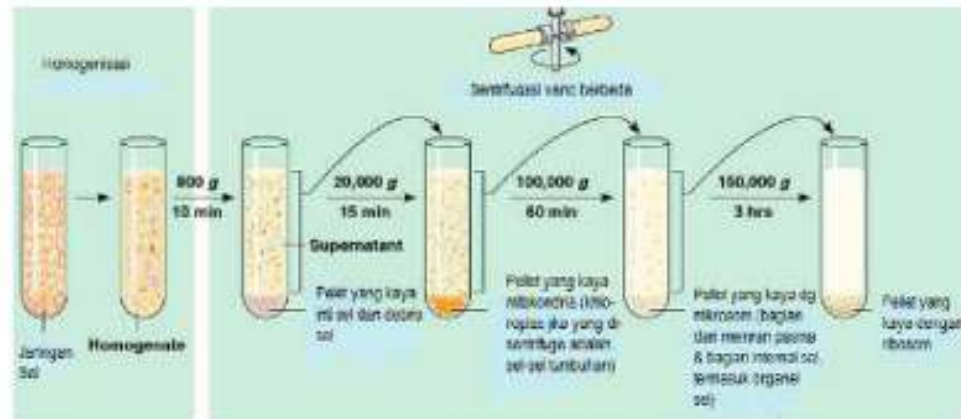
Pengamatan sel dengan menggunakan mikroskop dapat mengungkapkan struktur sel sebagai bagian penting untuk mengamati kehidupan pada tingkatan terkecil. Tetapi mikroskop belum mengungkapkan secara detail integrasi sitologi dengan proses biokimiawi dalam sel. Pendekatan biokimiawi sel dapat dilakukan dengan teknik fraksionasi sel yang kemudian menjadi bagian penting dalam perkembangan biologi sel.

2) Pengamatan sel dengan fraksinasi

Teknik fraksinasi sel dipergunakan untuk memisahkan sel menjadi bagian-bagian organel-organel selnya sehingga fungsi permasing-masing bagian tersebut dapat diamati dengan lebih detail. Alat utama yang dipergunakan adalah sentrifuge dan tabung reaksi yang dipasangkan dan diputar kecepatan tertentu yang memiliki kecepatan sesuai kebutuhan. Sentrifuge dengan kecepatan hingga 80.000 putaran per menit (rpm) disebut ultrasentrifuge sehingga memberikan gaya pada partikel-partikel hingga 500.000 kali gaya gravitasi (500.000 g).

Fraksinasi diawali dengan homogenisasi, untuk mengacaukan sel yaitu memecah sel tanpa merusak organelnya. Perlakuan dengan sentrifuge akan memisahkan bagian-bagian sel menjadi dua fraksi, 1) pelet, yang merupakan struktur-struktur yang lebih besar dan mengumpul di bagian bawah tabung reaksi, 2) supernatan, yang terdiri dari bagian-bagian sel yang lebih kecil yang tersuspensi dalam cairan di atas pelet tadi. Supernatan tersebut dituang di tabung lain dan disentrifuge kembali. Proses

tersebut terus diulangi dengan kecepatan yang semakin meningkat pada setiap tahapan, sehingga akan mengumpulkan komponen yang semakin lama akan semakin kecil dalam pelet yang berurutan, seperti nampak pada Gambar 1.6.



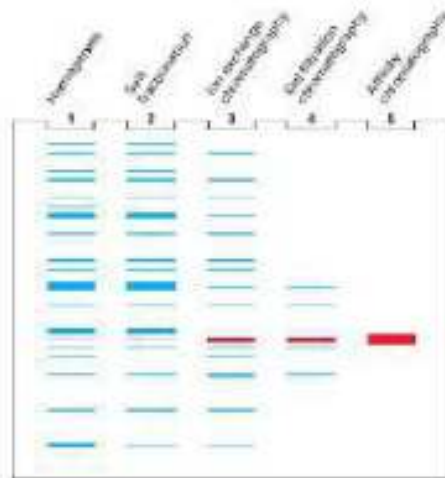
Gambar 1.6. Fraksionasi sel, yang diawali dengan homogenisasi, yang dilanjutkan dengan fraksionasi melalui serangkaian pemutaran dengan alat sentrifuge. Bagian yang tidak membentuk pelet atau supernatan, dituang dan disentrifuge lagi dengan kecepatan yang lebih tinggi. (Sumber: Champbell, 2010).

Fraksionasi dengan homogenisasi seperti Gambar 1.6 yang bertujuan untuk pemurnian tersebut, dapat juga diterapkan untuk mengetahui jenis protein tertentu sebagai produk dari sintesis protein. Untuk memurnikan protein sasaran maka prosedur dapat diatur dengan menggunakan langkah-langkah yang bertahap untuk mencapai protein sasaran yang dituju. Proses fraksionasi diawali dengan homogenisasi dari jaringan yang diletakkan dalam tabung reaksi dan kemudian disentrifuge sehingga terpisahkan antara *supernatan* (bagian atas larutan dengan kandungan bahan atau organel yang memiliki berat molekul ringan) serta *pelet* (bagian bawah tabung yang kaya dengan inti sel dan serpihan-serpihan sel yang memiliki berat molekul besar). Supernatan dipindahkan kembali dalam tabung reaksi yang lain dan disentrifuge kembali sesuai dengan keperluan, sehingga setelah dilakukan beberapa kali akan didapatkan hasil berupa pelet yang kaya dengan ribosom (sebagai organel penghasil protein). Hasil yang didapat tersebut kemudian diberi perlakuan lain atau dianalisa sesuai kebutuhan.

Pemurnian protein dibutuhkan untuk mempelajari bagaimana katalisis reaksi kimia dapat atau fungsi lain yang dilakukan serta aktivitas regulasi atau pengaturannya. Banyak enzim tersusun dari banyak rangkaian rantai protein dimana salah satu rantai akan berperan sebagai katalis suatu reaksi kimia dan rantai yang lain akan mengatur kapan dan dimana reaksi akan berlangsung. Dengan memisahkan masing-masing protein tersebut atau aktifitasnya maka akan dapat dianalisis. Sebagai contoh,

pemurnian dan cara mempelajari aktivitas serta komposisi replikasi DNA yang akan membuktikan mekanisme kerja untuk replikasi DNA selama pembelahan sel.

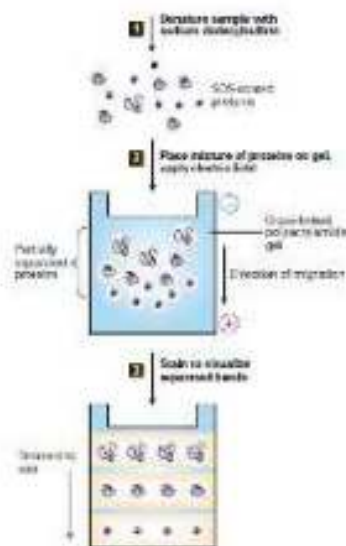
Bentuk lipatan, struktur tiga dimensi, atau konformasi protein merupakan kondisi vital yang terkait dengan fungsi protein tersebut. Untuk mengetahui hubungan antara fungsi dan struktur protein, maka dibutuhkan pengetahuan bagaimanakah struktur detail protein tersebut. Metode yang dapat digunakan untuk menentukan struktur kompleks protein, DNA, dan RNA maka dipergunakan metode *x-ray crystallography*. Dengan bantuan analisis komputer maka akan dapat diketahui lokasi dari setiap atom, kompleks molekul untuk kemudian ditentukan jenisnya.



Gambar 1.7. Pemurnian protein dari ekstrak sel yang seringkali dengan menggunakan teknik pemisahan. Teknik pemisahan dengan gel elektroforesis diawali dengan dengan pencampuran protein dan fraksinasi dari tiap langkah pemurnian. Penggunaan garam dan konsentrasi detergent, akan menjadikan protein berpindah pada fiber dari gel atas menuju anoda, dimana protein yang besar lebih lambat turunnya dibanding protein yang kecil. (Sumber: Lodish, 2010).

Teknik yang dapat dilakukan untuk mengetahui struktur dan fungsi protein dengan tujuan tertentu selain dengan metode *x-ray crystallography* adalah dengan langkah pemurnian, deteksi, dan karakteristik protein yang dimaksud. Hal ini mengingat tidak ada satu jenis metode yang dapat digunakan untuk mengisolasi satu protein dari sekitar 10.000 jenis protein berbeda yang dalam sel. Oleh karena itu langkah pertama adalah pemurnian protein dengan sentrifugasi seperti dijelaskan pada Gambar 7. Langkah pemurnian dapat dilakukan secara bertahap seperti langkah fraksinasi yang sudah dijelaskan, dengan kecepatan sentrifugasi yang sesuai sehingga berbagai jenis protein yang ada dapat terpisahkan dengan baik.

Pemurnian protein dengan sentrifugasi dilanjutkan dengan deteksi molekul protein berdasarkan berat molekulnya melalui metode elektroforesis. Metode ini merupakan teknik untuk memisahkan molekul yang tercampur dengan mengaplikasikan elektroda listrik. Teknik memisahkan protein berdasarkan berat molekulnya yang banyak diaplikasikan adalah dengan *SDS-polyacrylamide gel electrophoresis*, dengan menggunakan detergen *sodium dodecylsulfate* (SDS) sebelum dan selama gel elektroforesis. Teknik pelaksanaan elektroforesis dapat dijelaskan pada Gambar 1.8.



Gambar 1.8. SDS polyacrylamid gel electrophoresis berdasarkan berat molekul. 1) penggunaan SDS, dengan muatan negatif detergen akan merusak kompleksitas protein dan rantai, 2) selama electrophoresis kompleks protein akan berpindah pada gel polyacrilamide, 3) protein kecil akan dengan mudah menembus pori agar dibandingkan molekul protein yang besar. Pemisahan molekul protein tersebut akan menampakkan pita-pita pada gel acrilamid, yang nampak setelah dilakukan proses staining. (Sumber: Lodish, 2010).

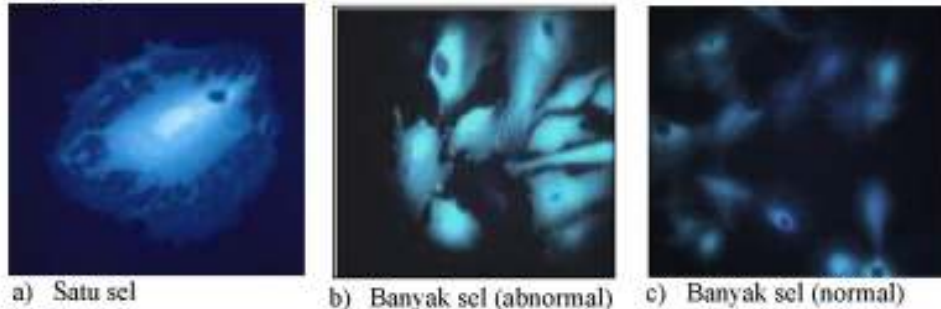
Analisa SDS-*polyacrylamide gel* electrophoresis didasarkan pada pita-pita yang tampak pada gel setelah dilakukan *staining*. Dengan demikian maka jenis protein yang diisolasi akan nampak berdasarkan berat molekulnya setelah dibandingkan dengan marker protein yang sudah ada. Teknik lain yang lebih teliti untuk mengamati protein dapat dilakukan dengan gel electrophoresis dua dimensi yang bahkan mampu memisahkan protein dengan berat molekul yang hampir sama. Juga dapat dipergunakan teknik yang disebut *chromatography* untuk mengetahui protein berdasarkan berat molekul, fungsi, dan berdasarkan ikatan antar molekulnya.

3) Pengamatan sel dengan *fluorecense*

Beberapa sel memiliki perbedaan yang cukup besar dalam kerapatan, sehingga akan dapat dipisahkan berdasarkan kondisi fisik yang dimiliki. Misalkan sel darah merah dan sel darah putih, memiliki perbedaan karena eritrosit tidak memiliki nukleus sehingga akan cenderung lebih mudah dipisahkan dengan sentrifuge. Karena banyak sel memiliki perbedaan tipe yang tidak dapat dengan mudah diamati, maka teknik yang lain dibutuhkan untuk memisahkan sel-sel tersebut.

Flow cytometer dapat mengidentifikasi perbedaan sel berdasarkan ukuran dengan cara menyebarkan cahaya dan memancarkan *fluorecense* yang dipancarkan kembali. *Fluorescence activated cell sorter* (FACS) sebagai dasar dari teknik *flow cytometer*, yang dapat melakukan seleksi satu sel dari ribuan sel yang ada. Misalkan, jika satu antibody spesifik pada permukaan membran sel akan berikatan dengan *fluorescent*, sehingga molekul tersebut akan berikatan dengan antibody dan akan terpisahkan dari jenis sel yang lain dalam FACS. Setelah satu sel terisolasi dari sel yang lain, maka sel terseleksi dapat ditumbuhkan dalam kultur untuk diamati.

Contoh hasil pengamatan dengan menggunakan pewarnaan fluoresence seperti nampak pada Gambar 1.9. berikut:



Gambar 1.9. Pengamatan sel dengan pewarnaan fluoresence V2A eks-435 pada sel penderita diabetes. a) satu sel abnormal yang menyerap banyak Ca, b) banyak sel yang menyerap Ca karena kandungan glukosa yang tinggi, c) banyak sel yang sedikit menyerap Ca karena kandungan glukosa yang normal. (Sumber: Sumitro, Lab Biologi molekuler, Unibraw, 2013).

C. MANFAAT DAN KERUGIAN MEMPELAJARI BIOLOGI SEL

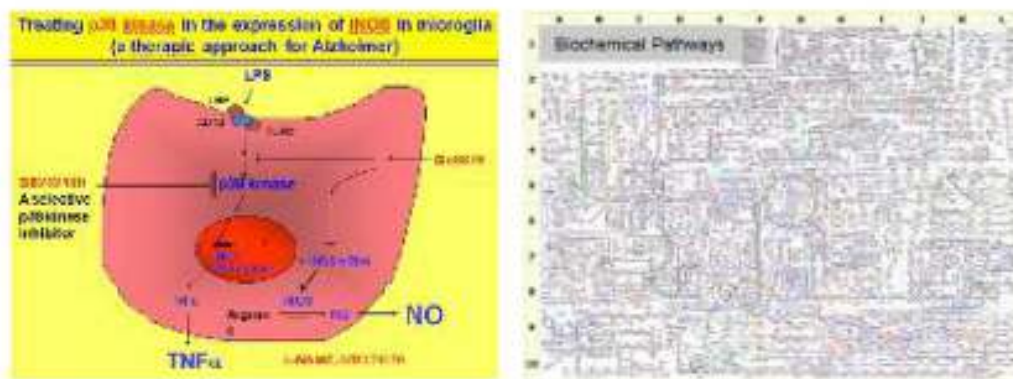
Biologi sel merupakan salah satu cabang biologi yang mengkhususkan diri untuk mempelajari tentang struktur dan fungsi sel dan organel-organel selnya. Selain itu proses interaksi dan komunikasi antar sel untuk melakukan mekanisme kerja juga menjadi bagian penting dalam menjelaskan interaksi antar organel dalam sel. Banyak manfaat yang bisa didapatkan saat mempelajari tentang sel, karena dilandasinya pemikiran bahwa pada dasarnya kehidupan diawali dari sel. Di dalam tubuh organisme sel memiliki ukuran dan bentuk yang sangat beragam yang biasanya kondisi tersebut terkait dengan fungsi dari tiap-tiap sel yang unik dan spesifik.

Secara garis besar seperti di awal sudah dijelaskan maka sel akan terdiri dari dua tipe yaitu prokariotik dan eukariotik. Kebanyakan prokariotik secara uniseluler maka mampu melaksanakan mekanisme kehidupan dengan metabolisme secara mandiri. Sedangkan eukariotik membutuhkan koordinasi dan komunikasi dengan sel yang lain untuk membentuk jaringan sehingga mampu menjalankan fungsi kompleks untuk menunjang kehidupan organisme. Bisa dibayangkan, bagaimana manusia berkembang dari satu sel yang merupakan hasil pembuahan dari ovum dan sperma sehingga membentuk *zygote*. Selain kebesaran Allah SWT, maka secara ilmiah proses tersebut dapat dijelaskan sebagai perkembangan dan *differensiasi* dari setiap tipe sel yang terbentuk menjadi bermacam jaringan dalam tubuh.

Mempelajari biologi sel akan sangat membantu memahami keseluruhan mekanisme hidup melalui pengamatan terhadap bagian dan perilaku sel. Hampir seluruh ciri kehidupan dimiliki oleh sel, mulai dari berkembang biak, metabolisme, koordinasi, dan komunikasi. Dengan mempelajari biosel tersebut maka akan secara tidak langsung dapat diindikasikan bahwa perilaku sel cukup mewakili kondisi yang terjadi dalam tubuh organisme. Tetapi keberadaan berbagai jenis sel yang kemudian menjadi otot,

kulit, tulang, syaraf, dan sel-sel darah tidak cukup untuk menghasilkan tubuh manusia. Tiap-tiap sel tersebut harus tersusun dan terorganisasi dengan baik menjadi jaringan, organ, dan bagian tubuh yang lain.

Perkembangan Biologi Sel yang sangat pesat menghasilkan banyak penelitian yang fokus pada bagian-bagian tertentu dari sel. Misalkan, saat ini sudah diketahui jenis protein tertentu yang mampu berperan sebagai pemicu suatu aktivitas metabolisme dalam sel dan sebaliknya protein yang menghambat aktivitas dalam sel. Pengetahuan dan pemahaman tersebut menjadikan manusia berpikir secara *reduksionisme* bahwa untuk mengatasi suatu penyakit atau menghasilkan protein tertentu yang dibutuhkan maka cukup dengan memberikan perlakuan pada bagian kecil dimaksud. Konsep pemikiran tersebut akhirnya secara keseluruhan menjadi merugikan bagi manusia, karena cenderung berpola pikir menyempit dan mengabaikan faktor lain yang bahkan mungkin berpengaruh terhadap bagian yang diteliti atau diamati. Contoh adalah penelitian untuk menghasilkan obat yang mampu menghambat penyakit Alzheimer (diambil dari kuliah dengan Prof. Sutiman, 2012) dengan terapi menggunakan p38 kinase (suatu protein) yang diterapkan pada sel microglia. Hasil penelitian menunjukkan dalam tingkatan sel, terapi tersebut dapat dilakukan. Akan tetapi saat diterapkan pada pasien penderita alzheimer, ternyata hasilnya tidak seperti yang diharapkan atau terjadi seperti hasil yang nampak pada tingkatan sel. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa terdapat faktor lain yang ternyata menjadi sangat berpengaruh sehingga terapi dimaksud tidak seperti yang diharapkan, cermati Gambar 1.10.



Gambar 1.10. Penelitian untuk Terapi pada penderita Alzheimer yang berhasil pada tingkatan seluler, tetapi ternyata tidak berhasil saat diterapkan pada kondisi aslinya (pada tubuh penderita). Mencermati jalur mekanisme biologi yang sangat kompleks pada sel, menjadikan pemahaman bahwa sel memiliki mekanisme unik dan spesifik dengan banyak faktor yang mempengaruhinya. (Sumber: Sumitro, Lab Biologi molekuler, Unibraw, 2013).

Meskipun ditinjau dari sisi tertentu apabila manusia tidak menyikapinya dengan bijak akan menjadi merugikan, tetapi Biologi Sel memberikan wacana besar terhadap konsep hidup dan kehidupan. Banyaknya penemuan pada tingkatan sel dan bahkan pada

tingkatan molekul yang menunjang kehidupan sel memunculkan banyaknya pemahaman baru bagi manusia untuk mengatasi masalah praktis yang ada, misalkan masalah penyakit, kekurangan pangan, dan lingkungan. Banyak masalah-masalah tersebut yang akhirnya terbantu dengan adanya penelitian tentang Biologi Sel. Dengan demikian apabila konsep kehidupan manusia mampu berkaca pada sel yang meliputi koordinasi, reproduksi, mekanisme, dan keteraturannya maka bisa jadi akan membuat manusia mampu mengembangkan pola pikir holistik sehingga menghargai kehidupan dan memanfaatkannya dengan baik.

RANGKUMAN

1. Sel adalah unit terkecil dari struktur organisme, yang memiliki keunikan dengan ciri-ciri yang secara keseluruhan mampu mewakili ciri organisme, yaitu: melakukan mekanisme, adaptasi, reproduksi, koordinasi, dan juga sosialisasi.
2. Biologi Sel adalah cabang Biologi yang mempelajari sel secara detail mulai dari struktur organel-organelnya serta fungsi dari masing-masing organel tersebut.
3. Mempelajari sel dapat dilakukan dengan banyak cara, dengan alat utama untuk mempelajari strukturnya adalah mikroskop. Terdapat banyak jenis mikroskop untuk mengamati sel, antara lain mikroskop cahaya, mikroskop elektron transmisi (*transmission electron microscope*, TEM) dan mikroskop elektron payar (*scanning electron microscope*, SEM). Penggunaan mikroskop semakin diperjelas dengan dukungan teknik pewarnaan, misalnya dengan *fluorescence*.
4. Mempelajari mekanisme dalam sel, pada tingkatan molekuler dapat dilakukan dengan banyak cara, antara lain dengan sentrifugasi untuk mengamati organel-organel sel dan bagian-bagiannya.
5. Mempelajari sel memiliki manfaat sekaligus kerugian apabila terjadi kesalahan pemahaman dan penerapan. Manfaat mempelajari Biologi Sel adalah memudahkan dalam hal mengetahui dan memahami proses yang terjadi pada sel yang mewakili proses yang terjadi pada organisme. Sedangkan kerugiannya adalah memunculkan sikap *reduksionisme*, yaitu anggapan bahwa dengan penerapan yang berhasil pada tingkatan sel maka akan memiliki hasil yang sama apabila diterapkan pada organisme.

PERTANYAAN 01

1. Jelaskan dengan uraian singkat mengapa bentuk sel sangat kecil atau mikroskopik.
2. Jelaskan dengan gambar dan sesuaikan persamaan dan perbedaan struktur dari sel prokariotik dan sel eukariotik.
3. Menurut Saudara, jelaskan manfaat dan kerugian dalam mempelajari Biologi Sel.

BAB 2

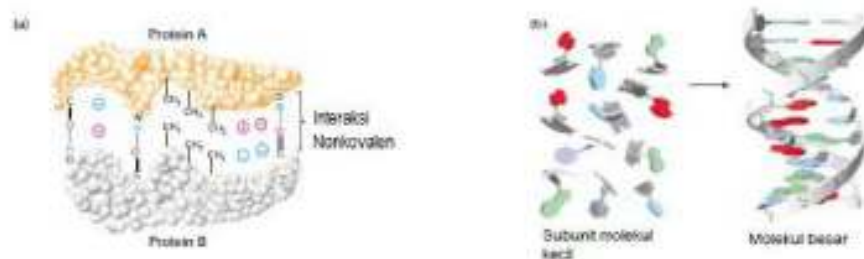
KOMPONEN KIMIWI SEL

A. KONSEP IKATAN KIMIA MOLEKUL DALAM BIOLOGI SEL

Kehidupan sel sangat tergantung kepada ribuan ikatan kimia yang saling berinteraksi dan bereaksi dengan sangat indah serta teratur dalam koordinasi antara satu molekul dengan molekul lainnya sehingga pada satu waktu dan tempat akan mempengaruhi instruksi sel secara genetik dan juga lingkungannya. Bagaimana sel dapat mengambil makanannya dan mendapatkan informasi dari lingkungannya? Bagaimana sel merubah energi dari makanan untuk bekerja (berpindah, melakukan sintesis untuk menghasilkan komponen penting, reproduksi)? Bagaimana sel melakukan hubungan dan interaksi dengan sel yang dalam suatu jaringan? Bagaimana sel-sel tersebut saling berkomunikasi antar satu dengan yang lainnya sehingga organisme dapat menjalankan seluruh fungsinya? Maka semua pertanyaan tersebut merupakan tujuan yang akan dapat terjawab dengan mempelajari Biologi Sel.

Keseluruhan ikatan kimia yang terjadi antar molekul untuk menunjang kehidupan sel yang pada akhirnya akan menunjang kehidupan organisme terjadi dalam lingkungan air. Hal ini merupakan dasar penting, dimana air merupakan molekul yang sangat berlimpah dalam sistem biologi. Banyak biomolekul (seperti gula) tersedia dalam air, dengan ikatan antar molekul yang digambarkan sebagai *hidrofilik* (menyukai air), dan terdapat biomolekul lain (seperti lemak triaglisierol) yang bersifat *hidrofobik* (menghindari air). Sedangkan biomolekul lainnya dapat memiliki sifat keduanya karena adanya ikatan antar molekul yang unik sehingga memiliki sifat *amfipatik* (memiliki daerah dengan sifat hidrofilik dan hidrofobik) seperti terdapat pada *fosfolipid*. Keseluruhan molekul dengan sifat-sifat unik tersebut akan membangun membran sel dan seluruh organel yang ada dalam sel.

Molekul merupakan gabungan antar atom melalui ikatan kimiawi sehingga mencerminkan sifat molekul bersangkutan. Sifat unsur kimiawi dan sifat senyawa yang dibentuk untuk menunjang kehidupan dihasilkan dari struktur atomnya. Atom memiliki neutron, proton, dan elektron yang nantinya dapat dipergunakan sebagai acuan dalam menentukan berat atom yang dinyatakan sebagai *dalton*. Keberadaan elektron dalam atom tersebut akan mempengaruhi jumlah energi yang dihasilkan oleh suatu atom, sehingga saat atom berinteraksi untuk membentuk molekul akan menjadikan sifat atom tercermin pada molekul yang dihasilkan melalui ikatan kimiawi kovalen dan ionik.

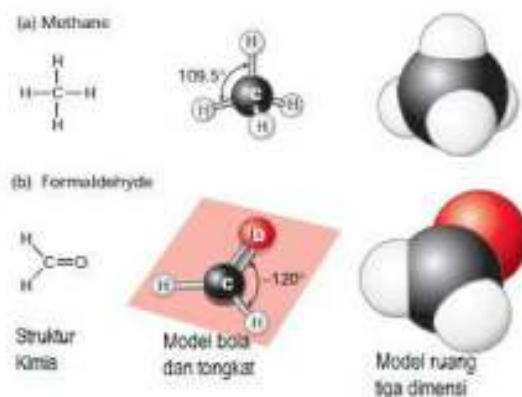


Gambar 2.1. Kimia kehidupan. a) kovalen dan nonkovalen, interaksi yang terjadi antara biomolekul, seperti tampak dua protein yang memiliki kesesuaian bentuk dan ikatan kimia sehingga secara bersama membentuk ikatan kompleks yang kuat. b) molekul kecil membantu menyusun molekul besar. (Sumber: Lodish, 2010)

Gambar 2.1. menunjukkan pentingnya ikatan kimia yang terjadi antar molekul dalam sel. Ikatan kovalen merupakan pemakaian bersama sepasang elektron valensi oleh dua atom. Keberadaan ikatan kovalen menjadikan atom-atom seperti asam amino secara bersama menjadi saling terhubung, sedangkan ikatan non kovalen menolong terhubungnya protein untuk berikatan antar protein sehingga secara bersama akan menjadi struktur komplementer yang memiliki fungsi khusus. Demikian bahwa molekul-molekul kecil akan menjadi struktur dasar untuk menyusun molekul besar. Contohnya adalah secara umum informasi akan dibawa oleh makromolekul DNA, yang tersusun dari empat molekul kecil yang saling berikatan yaitu adenin (A), tymin (T), Guanin (G), dan Cytosin (C).

Kemampuan satu atom menarik elektron-elektron dari suatu ikatan kovalen disebut *elektronegativitas* atom tersebut. Semakin elektronegativitas suatu atom maka akan semakin kuat atom menarik elektron-elektron yang digunakan bersama ke arahnya sendiri. Ikatan tersebut disebut sebagai ikatan kovalen nonpolar, seperti ikatan yang terjadi antar hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) membentuk molekul air. Sebaliknya jika satu atom lebih elektronegatif dibanding atom yang lain, maka suatu elektron tidak akan digunakan bersama secara setara yang disebut sebagai ikatan kovalen polar, misalkan ikatan pada molekul air tersebut.

Hidrogen, oksigen, karbon, nitrogen, pospor, dan sulfur adalah elemen yang banyak ditemukan dalam biomolekul. Masing-masing atom tersebut memiliki karakter dan akan berikatan secara kovalen dengan atom yang lainnya sehingga memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda dimana atom-atom tersebut dapat memiliki elektron sendiri atau menggunakan elektron secara bersama. Ikatan yang terjadi antar molekul seringkali menyebabkan suatu atom yang lebih elektronegatif akan merebut satu elektron pasangan dari molekul yang ada di sebelahnya atau yang berikatan dengannya. Sebuah atom atau molekul yang bermuatan positif disebut kation dan sebaliknya jika bermuatan negatif maka disebut anion. Karena muatan yang berlawanan tersebut, maka akan terjadi tarik menarik antar atom yang disebut sebagai ikatan kovalen, dimanakondisi lingkungan akan sangat mempengaruhi kekuatan ikatan ionik.



Gambar 2.2. Ikatan geometri pada karbon secara kovalen dengan empat atau tiga atom yang berbeda. a) jika sebuah atom karbon yang memiliki empat tempat berikatan, seperti metana (CH_4), ikatan atom H akan berada di sekitar ruangan dengan berbentuk tetrahedron. b) sebuah karbon juga dapat berikatan dengan tiga atom, seperti formaldehida (CH_2O). Dalam contoh ini, elektron karbon berada pada dua ikatan dan satu ikatan. (Sumber: Lodish, 2010)

Gambar 2.2, menjelaskan ikatan kovalen yang terjadi antar atom sehingga membentuk struktur molekul yaitu metana dan formaldehid. Perlu dicermati bahwa model bola dan tongkat merupakan gambaran konsep ikatan atom untuk memudahkan pemahaman mengenai ikatan tersebut. Sedangkan gambaran yang mendekati kondisi nyata dan cenderung lebih akurat tampak pada gambaran tiga dimensi dimana masing-masing atom akan mengisi seluruh ruang dalam membentuk struktur melalui ikatan kovalennya.

Sebuah molekul memiliki ukuran dan bentuk yang khas, dan menjadi bagian penting dari fungsi molekul tersebut dalam sel hidup. Molekul dengan dua atom seperti H_2 atau O_2 selalu linier, tetapi molekul dengan lebih dari satu atom akan memiliki bentuk yang rumit. Bentuk molekul tersebut sangat penting dalam biologi karena menentukan bagaimana sebagian besar molekul kehidupan mengenali dan merespon satu sama lainnya. Misalkan, contoh pensinyalan otak dimana molekul pensinyal dilepas oleh sel untuk transmisi dengan bentuk unik yang sesuai dengan bentuk molekul reseptor pada sel penerima (mirip ikatan kunci dan anak kunci). Bentuk yang saling bersesuaian tersebut akan membantu pembentukan ikatan lemah antar molekul. Dalam banyak kasus, molekul yang memiliki bentuk serupa dengan molekul sinyal otak tersebut akan dapat mempengaruhi persepsi terhadap suasana hati dan rasa sakit. Morfin, heroin, dan obat yang mengandung opium meniru bentuk molekul sinyal alami yang disebut *endorfin*. Efek obat buatan yang mirip *endorfin* tersebut adalah menimbulkan euforia (perasaan senang berlebih) dan menghilangkan rasa sakit dengan cara melekat pada reseptor *endorfin* di otak.

Pada banyak molekul ikatan antar atom yang berbeda tersebut menyebabkan terjadinya tarik menarik dari elektron pada ikatan kovalen sehingga dapat terjadi dua elektron dipakai bersama oleh dua atom yang berbeda. Kemampuan atom untuk menarik elektron tersebut adalah kemampuan *elektronegatif*. Semakin elektronegatif sebuah atom,

maka akan semakin kuat atom tersebut menarik elektron-elektron yang digunakan bersama ke arahnya sendiri. Ikatan antar atom dengan kemampuan elektronegatif yang sama disebut *nonpolar*. Pada ikatan nonpolar ini, elektron terikat dan digunakan bersama antara dua atom, seperti ikatan pada C-C dan C-H. Sedangkan jika dua atom memiliki tingkat elektronegatifitas yang berbeda, maka ikatan antar keduanya disebut sebagai ikatan *polar*, dimana satu atom lebih elektronegatif dibanding atom lainnya sehingga elektron dalam ikatannya tidak digunakan secara setara.

Ikatan kimiawi antar molekul merupakan bagian penting dalam sel, karena sifat-sifat kehidupan muncul dari interaksi molekuler. Ikatan kimiawi lemah yang menghubungkan kontak antar molekul secara singkat merupakan bagian penting yang diperlukan dalam organisme hidup. Selain ikatan ionik yang relatif lemah di tengah keberadaan air maka dikenal juga ikatan hidrogen, yang terjadi apabila atom hidrogen secara kovalen terikat pada satu atom elektronegatif yang juga tertarik ke arah atom elektronegatif lainnya. Dalam sel hidup, pasangan-pasangan elektronegatif yang terlibat biasanya adalah atom oksigen atau nitrogen.

Pembentukan dan pemutusan ikatan kimiawi sehingga menyebabkan perubahan komposisi materi disebut reaksi kimiawi. Salah satu faktor yang mempengaruhi laju reaksi adalah konsentrasi reaktan, dimana semakin tinggi konsentrasi molekul reaktan maka akan semakin sering molekul-molekul tersebut bertumbukan sehingga memiliki kesempatan untuk bereaksi dan membentuk suatu produk.

B. PERAN AIR DAN KOMPONEN ANORGANIK SEL

1. Air sebagai komponen penting sel

Kehidupan diawali dengan adanya air, sehingga seluruh organisme sebagian besar tersusun oleh air dan hidup dalam lingkungan yang didominasi air. Sel mengandung 75% hingga 90% air yang juga berada pada medium lingkungan air. Air adalah satu-satunya substansi yang dapat ditemukan di alam dalam tiga wujud fisik materi yang berbeda: cair, padat dan gas. Tiap molekul air dapat membentuk ikatan hidrogen dengan maksimal empat molekul di sekitarnya. Kualitas luar biasa air adalah sifatnya yang muncul sebagai akibat adanya ikatan hidrogen yang dapat menyusun molekul-molekul tersebut ke dalam tingkat pengaturan struktural yang lebih tinggi.

Air merupakan media utama yang sangat penting bagi sel, karena setiap sel pasti akan dikelilingi oleh *sttosol* (cairan intra sel dengan media utama air) serta cairan ekstra sel yang berisi bahan-bahan yang dibutuhkan oleh sel maupun tempat menampung hasil sekresi sel. Keberadaan air tersebut berperan penting dalam lingkungan hidup dengan empat sifat utamanya yaitu: 1) perilaku kohesi, 2) kemampuan menstabilkan suhu, 3) pemuain saat membeku, dan 4) pentingnya air sebagai pelarut.

Perilaku kohesi air

Molekul-molekul air bersatu karena adanya ikatan hidrogen lemah yang mudah terpisah dan terbentuk kembali secara cepat antar molekulnya. Kondisi tersebut

menjadikan air lebih teratur dibanding cairan lainnya, yang secara keseluruhan fenomena tersebut disebut sebagai **kohesi**. Pada tumbuhan, kohesi akan berperan dalam pengangkutan air untuk melawan gravitasi, dimana ikatan hidrogen akan mengakibatkan setiap molekul air yang keluar akan dapat menarik menarik molekul air yang berada dalam pembuluh secara terus menerus. Ikatan air dengan melekat pada dinding pembuluh yang juga membantu melawan gravitasi disebut sebagai **adesi**. Kondisi penting yang erat kaitannya dengan kohesi adalah adanya **tegangan permukaan**, yang merupakan ukuran seberapa sulitnya permukaan suatu cairan diregang atau dipecahkan.

Kemampuan menstabilkan suhu

Keberadaan air merupakan hal yang sangat esensial di bumi, dengan berbagai fungsinya. Air mampu menstabilkan suhu udara dengan menyerap panas dari udara yang lebih hangat dan kemudian melepaskannya ke udara yang lebih dingin. Proses pendinginan dengan medium air salah satunya melalui mekanisme penguapan. Misalkan penguapan air dari daun tumbuhan akan membantu jaringan-jaringan dalam daun agar tidak terlalu panas terkena cahaya matahari. Proses keluarnya keringat akan mengurangi suhu panas tubuh dan membantu mencegah kepanasan saat cuaca panas atau saat dihasilkan panas berlebihan karena aktifitas yang tinggi.

Panas penguapan air yang tinggi membantu menstabilkan iklim di bumi. Sejumlah besar panas matahari diserap oleh lautan tropis dan digunakan dalam penguapan air di permukaan laut tersebut. Kemudian, udara tropis yang lembab berputar menuju kutub dan energi panas akan dilepaskan ketika udara lembab tersebut terkondensasi membentuk hujan. Saat cairan menguap, maka permukaan cairan yang tidak menguap akan tetap dingin. Proses pendinginan air melalui penguapan ini berperan pada kestabilan suhu di danau dan kolam serta memberikan mekanisme yang dapat mencegah organisme darat mengalami *overheat* (kepanasan).

Pemuatan saat membeku

Air merupakan zat yang wujud cairnya lebih rapat dibanding wujud padatnya, sehingga saat benda lain mengkerut ketika dipadatkan, maka sebaliknya air akan mengembang menjadi es saat dipadatkan. Hal unik tersebut terjadi karena adanya ikatan hidrogen pada air, yang mulai membeku ketika molekul-molekulnya bergerak lambat sehingga tidak mampu memutuskan ikatan hidrogennya karena adanya penurunan suhu. Saat suhu 0°C masing-masing molekul akan berikatan dengan maksimal 4 molekul air lainnya, dan mempertahankan molekul-molekul tersebut pada jarak yang cukup jauh.

Kemampuan es mengapung karena mengembangnya air saat dipadatkan merupakan hal penting bagi kelestarian lingkungan. Es tersebut akan menutup cairan air di bawahnya dan mencegahnya membeku sehingga tetap mempertahankan kehidupan di bawah permukaan es yang beku tersebut.

Air sebagai pelarut

Air sebagai pelarut yang berada di sekeliling sel, dengan banyak unsur kimia akan mempengaruhi mekanisme biokimianya. Suatu senyawa tidak perlu berbentuk senyawa ionik agar dapat larut dalam air, karena senyawa polar juga merupakan senyawa yang larut dalam air. Suatu molekul besar, seperti protein dapat larut dalam air jika memiliki daerah ionik dan daerah polar pada permukaannya. Berbagai jenis senyawa polar dapat dilarutkan (bersama dengan ion-ionnya) dalam air yang merupakan cairan-cairan biologis, seperti darah, sari tumbuhan, maupun cairan intra sel.

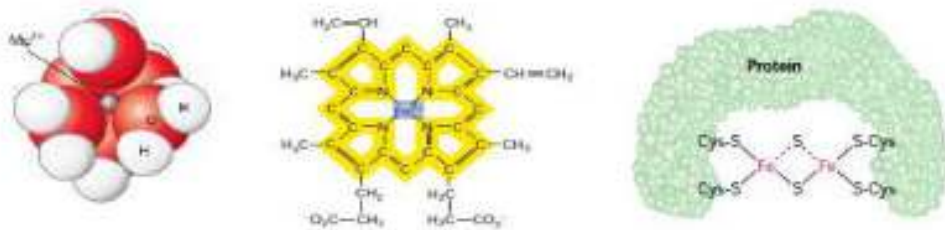
Banyak biomolekul yang akan berinteraksi dengan air, dimana keberadaan air mampu memberikan kondisi yang digambarkan sebagai *hydrophilic* dan *hydrophobic*, dan bahkan kondisi amphipatik untuk biomolekul tertentu (seperti *phospholipid*) dapat terdiri dari dua kondisi *hydrophilic* dan *hydrophobic*. Semua zat yang memiliki afinitas terhadap air, baik yang bersifat ionik ataupun polar disebut hidrofilik. Contohnya adalah gula yang memiliki sifat polar dapat larut dalam air karena molekul air dapat menyelubungi molekul polar gula tersebut. Sedangkan senyawa yang non ionik dan non polar pasti akan menolak air dan disebut hidrofobik. Contohnya adalah minyak nabati yang tidak dapat larut dan bercampur dengan zat-zat yang mengandung air seperti cuka. Kondisi hidrofobik minyak tersebut terjadi karena adanya ikatan antara karbon dan hidrogen yang membagi elektron-elektronnya hampir sama rata.

Keseluruhan fungsi sel, jaringan, dan organisme tergantung dari keseluruhan molekul yang berinteraksi mulai dari yang terkecil hingga terbesar. Kehidupan sangat tergantung pada beribu interaksi dan reaksi kimia yang masing-masing komponen kimiawi secara tepat dan sesuai akan berikatan satu dengan lainnya pada satu tempat dan waktu sehingga akan mempengaruhi insruksi genetik sel dan lingkungannya.

2. Vitamin dan mineral bagi sel

Vitamin merupakan komponen anorganik yang dibutuhkan sel dalam jumlah yang relatif sedikit tetapi harus ada. Fungsi utama vitamin adalah mempertahankan fungsi metabolisme, yaitu pertumbuhan dan penghancur radikal bebas. Contoh vitamin adalah: A, B1-B6, B12, C, D, E, K, dan H.

Mineral merupakan unsur kimia selain karbon, hidrogen dan oksigen dan terdapat dalam jumlah yang besar dan yang dibutuhkan dalam jumlah cukup banyak adalah seperti kalsium (Ca), fosfor (P), magnesium (Mg), natrium (Na), Klor (Cl), dan belerang (S). Sedangkan mineral yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit adalah besi (Fe), yodium (I), seng (Zn), kobalt (Co), dan fluorin (F). Untuk sel mineral berfungsi sebagai komponen struktural sel, pemelihara fungsi metabolisme, pengaturan kerja enzim, dan menjaga keseimbangan asam basa sel.



Gambar 2.3. Keberadaan unsur mineral yang berikatan dengan molekul lain dalam sel. a) Interaksi elektrostatis antara air dan ion magnesium (Mg^{2+}). b) Heme dan kelompok besi (Fe^{2+}) dan sulfur (S) dalam rantai pernafasan (elektron transport). c) Ikatan dimer besi-sulfur ($2Fe-2S$). Masing-masing atom Fe berikatan dengan empat atom S. (Sumber: Lodish, 2010).

Gambar 2.3. menunjukkan interaksi ionik yang disebut kation dan anion, dengan adanya ikatan unsur-unsur mineral dengan molekul lainnya. Dalam larutan media air bagi sel, ion-ion sederhana tersebut berfungsi untuk menunjang kebutuhan biologis sel dan berbentuk ion-ion seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Cl^- , dimana mineral-mineral tersebut tidak tersedia secara bebas melainkan berikatan dengan atom atau molekul protein. Banyak komponen ion yang terpecah dalam air karena energi hidrasi, dimana energi lebih besar dibutuhkan ketika ion-ion tersebut harus terikat lagi dengan molekul air. Tampak pada Gambar 2.3. b. Merupakan jenis heme, dengan sebuah besi sebagai gugus prostetik yang terikat pada haemoglobin dan myoglobin, dan terikat secara kovalen pada protein dalam mitokondria, membentuk struktur *cytokrom*. Elektron terus mengalir pada *cytokrom* karena adanya oksidasi dan reduksi dari atom Fe di tengah dengan molekul heme. Sedangkan pada Gambar 2.3. c, merupakan kelompok Fe-S yang nonheme, dimana Fe sebagai prostetik akan berikatan dengan atom anorganik S dan atom S pada residu sistein dalam protein. Ikatan Fe-S tersebut saling berpindah dan diterima pada satu waktu, dimana perpindahan elektron juga diikuti oleh terurainya atom Fe secara keseluruhan dalam kelompok protein tersebut.



Gambar 2.4. Struktur sekunder protein, dengan adanya ikatan bersama mineral seperti Ca^{2+} dan Zn^{2+} . a) ikatan kalsium pada protein yang disebut calmodulin, tampak lima atom oksigen dan satu molekul air yang berikatan ionik dengan ion Ca^{2+} . b) Keberadaan Zn yang terikat pada DNA melalui protein menentukan pengaturan transkripsi. (Sumber: Lodish, 2010).

Gambar 2.4. menjelaskan bahwa mineral-mineral dalam medium tidak berdiri sendiri, tetapi selalu berikatan dengan molekul lain, salah satunya adalah protein. Ca^{2+} berikatan dengan protein membentuk konformasi yang disebut *helix-loop-helix*. Model tersebut dengan banyak ikatan Ca^{2+} membentuk protein calmodulin. Sedangkan gambar protein yang berikatan dengan atom Zn secara struktural sehingga mempengaruhi fungsinya, yang dalam hal ini menentukan terjadinya proses transkripsi.

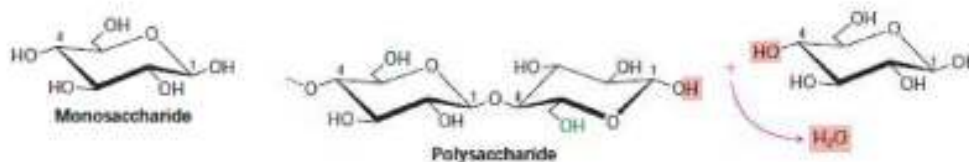
C. KOMPONEN ORGANIK SEL

Empat makromolekul penting dalam kehidupan sel adalah: karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat. Bentuk molekul besar tersebut merupakan molekul yang disusun berbentuk rantai panjang disebut sebagai polimer, yang tersusun dari banyak molekul kecil yang disebut monomer. Biasanya monomer-monomer tersebut berikatan secara kovalen melalui pelepasan satu molekul air dengan reaksi kondensasi atau reaksi dehidrasi. Sebaliknya polimer akan diuraikan menjadi monomernya melalui mekanisme hidrolisis, yang merupakan proses kebalikan dari reaksi dehidrasi.

Setiap sel akan memiliki keragaman jenis makromolekul yang berbeda dan bervariasi dari satu jenis sel ke jenis sel yang lain dalam organisme yang sama. Variasi polimer terjadi khususnya pada DNA dan protein. Perbedaan yang sangat besar akan terjadi antar individu-individu yang tidak sekerabat, dan menjadi lebih besar lagi pada perbedaan antara spesies-spesies. Dengan demikian keragaman makromolekul dalam kehidupan sangatlah besar dengan potensi keragaman yang sangat tidak terbatas. Hal penting yang menjadi kunci keragaman adalah adanya pengaturan terhadap variasi urutan dari unit-unit penyusun masing-masing makromolekul tersebut.

Karbohidrat

Karbohidrat merupakan istilah yang meliputi gula dan polimernya dengan bentuk paling sederhana adalah monosakarida yang banyak berperan dalam respirasi seluler sebagai sumber energi. Molekul gula yang tidak segera digunakan biasanya akan disimpan sebagai monomer yang tergabung dalam disakarida atau polisakarida, yaitu polimer yang terdiri dari banyak ikatan molekul gula sederhana.



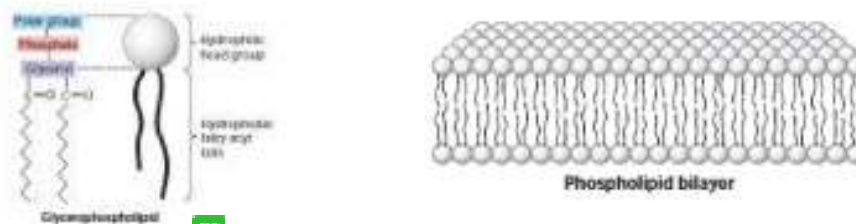
Gambar 2.5. Monosakarida atau gula yang akan saling berikatan melalui ikatan glikosidik (ikatan kovalen yang terbentuk antara dua molekul monosakarida melalui reaksi dehidrasi) dan membentuk polisakarida. (Sumber: Lodish, 2010).

Polisakarida banyak berfungsi sebagai materi simpanan atau cadangan yang akan dihidrolisis untuk menyediakan gula bagi sel. Fungsi polisakarida ditentukan oleh monomer gulanya serta oleh posisi ikatan glikosidiknya. Polisakarida simpanan dalam tumbuhan adalah pati, dengan bentuk polimer paling sederhana adalah amilosa yang rantainya tidak bercabang. Sedangkan pada hewan polisakarida simpanan berupa glikogen yaitu polimer glukosa yang mirip dengan amilopektin namun dengan percabangan yang lebih banyak.

Polisakarida struktural merupakan bentuk polimer glukosa yang berperan membangun matrik penguat bagi organisme. Selulosa merupakan contoh polisakarida struktural sebagai komponen utama dinding keras yang menyelubungi sel-sel tumbuhan. Pada hewan terdapat kitin yang merupakan karbohidrat yang dipergunakan oleh arthropoda (serangga, laba-laba, crustacea, dan hewan lain yang sejenis) untuk membangun eksoskeleton (kerangka luar) hewan tersebut.

Lipid

Lipid merupakan makromolekul biologis yang tidak memiliki atau sedikit sekali afinitasnya terhadap air, sehingga cenderung hidrofobik. Lipid memiliki golongan penting: fosfolipid dan steroid, yang banyak berperan dalam proses metabolisme sel. Fosfolipid merupakan komponen penting dalam membran sel dan akan menyusun membran sel tersebut. Bersama dengan protein tertentu maka fosfolipid, termasuk kolesterol secara bersama akan membentuk membran sel serta memberikan karakter cair. Karakter fluid atau cair tersebut yang menjadikan membran sel memiliki perubahan bentuk yang fleksibel dan berpindah sesuai dengan mekanisme yang dibutuhkan sel. Dengan sifat lipid yang netral dan afinitas yang rendah terhadap air, maka lipid menjadi separator atau pemisah antara satu sel dengan sel lainnya juga sel dengan lingkungan mediumnya. Keberadaan lipid menjadikan membran sel memiliki kemampuan untuk melakukan proses seleksi terhadap molekul-molekul yang akan melintasi membran sel, yang akan dibahas pada Bab 3. Gambar 2.2 menunjukkan salah satu jenis lipid, yaitu *glycerophospholipid* yang menyusun membran sel.



Gambar 2.6. Struktur fosfolipid dengan kepala hidrofilik (polar) dan dua ekor yang hidrofobik. Pada membran sel, fosfolipid merupakan komponen utama yang akan membentuk struktur *bilayer* sehingga membentuk batasan antara sel dengan lingkungan eksternalnya. (Sumber: Lodish, 2010).

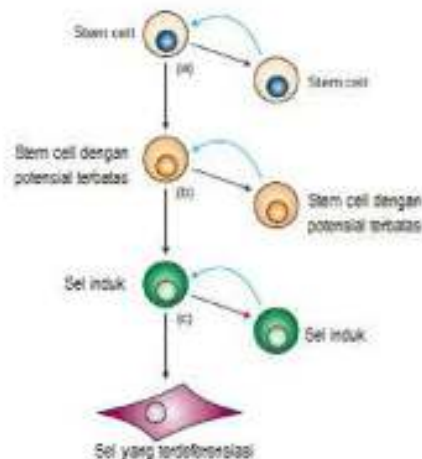
takdir dapat berubah apabila mendapatkan sinyal yang berbeda. Dua sel anak tersebut akan melanjutkan dengan pembelahan asimetrik yang berbeda sehingga konsekuensinya akan mengalami takdir yang berbeda pula. Pembelahan asimetri biasanya terjadi lebih dahulu pada tempat yang diatur oleh molekul yang terdapat pada satu bagian dari sel induk. b) rangkaian simetri atau asimetri pembelahan sel, yang disebut *silsilah sel*, menghasilkan sel untuk menjadi satu jenis sel yang terspesialisasi yang biasa ditemukan pada organisme multiseluler. Pola silsilah sel tersebut dapat berada di bawah kontrol genetik yang ketat. Kematian sel yang terprogram dapat terjadi selama perkembangan sel normal.

24 Pada dasarnya setiap sel dalam tubuh manusia dapat kembali menjadi sel telur yang sudah dibuahi yang berasal dari penggabungan sel telur dan sperma. Tetapi tubuh manusia kenyataannya terdiri dari lebih 200 tipe sel yang berbeda, dan tidak hanya satu. Keseluruhan tipe sel tersebut pada dasarnya berasal dari *stem cell* saat perkembangan awal embrio. Sel-sel tersebut akan mencapai puncak perkembangannya di akhir diferensiasi menjadi misalnya sel-sel kulit, syaraf, atau sel-sel otot. Saat akhir diferensiasi tersebut maka sel tidak akan mampu untuk kembali menjadi sel punca karena tingkat diferensiasinya yang tinggi. Sel-sel tersebut seringkali sudah tidak dapat membelah dan mempertahankan diri dengan melaksanakan fungsinya secara maksimal atau hanya bervariasi pada panjangnya saja pada satu waktu, untuk kemudian mati.

Baru-baru ini, inti sel yang diambil dari sel hewan dewasa dapat diproduksi menjadi hewan baru. Dalam prosedur ini, inti dipindahkan dari badan sel (misal sel kulit atau sel darah) hewan donor dan dimasukkan kedalam sel telur mamalia yang belum dibuahi dengan mengeluarkan nukleusnya. Manipulasi sel telur ini, akan setara dengan sel telur yang sudah dibuahi, yang kemudian dimasukkan dalam mamalia inang. Kemampuan dari nukleus donor untuk secara mandiri berkembang menjadi individu baru membutuhkan bantuan sehingga akan menjadi sel dewasa. Sejak seluruh sel-sel dalam hewan produksi yang pada tahap ini gen didapat dari sel donor, maka hewan baru merupakan *kloning* dari donor. Pengulangan dari proses tersebut dapat menghasilkan banyak kloning. Sejauh ini, bagaimanapun, sebagian besar produk embrio yang dihasilkan dengan teknik yang disebut nuklear-transfer kloning tidak dapat bertahan dan seringkali terdapat kerusakan atau cacat. Meskipun hewan-hewan tersebut dapat lahir dan hidup tetapi banyak menunjukkan ketidaknormalan, termasuk percepatan umur. Kondisi tersebut berbeda dengan pada tanaman, dimana kloning dapat selalu disediakan oleh tukang kebun, petani, dan teknisi laboratorium.

Semua sel diawali dengan sel punca, yaitu sel yang belum terspesialisasi dan secara potensial dapat mereproduksi dirinya sendiri dan juga menghasilkan banyak sel dalam jangka waktu yang tidak terbatas. Sebuah sel akan mengalami kulminasi dengan formasi akhir diferensiasi sel seperti sel-sel kulit, syaraf, dan sel-sel otot. Akhir dari proses diferensiasi tersebut biasanya tidak dapat kembali ke awal, dan

mengakibatkan spesialisasi sel yang tinggi dan seringkali tidak dapat membelah lagi. Sel-sel tersebut bertahan dan membawa fungsi yang dimilikinya selama hidupnya dan kemudian mati.



Gambar 12.2. Skema pola pembelahan sel dari *stem cell*. a) pembelahan yang diawali oleh *stem cell* akan menghasilkan dua sel, yang salah satunya akan menjadi seperti *stem cell* awalnya. b) sel anak yang lainnya, akan berkembang menjadi *stem cell* dengan kemampuan yang terbatas, dan memulai jalur untuk memproduksi sel-sel yang akan mengalami diferensiasi. Saat membelah salah satu sel tetap akan sama menjadi *stem cell* dengan kemampuan yang terbatas dan sel yang lain akan menjadi sel induk yang akan menjadi tipe tertentu diferensiasi sel. sel induk tersebut dapat membelah dan mereproduksi dirinya sendiri, dalam merespon signal secara tepat, dan berdiferensiasi menjadi bentuk akhir diferensiasi, tetapi bukan sebagai sel induk awal. (Sumber: Lodish, et al. 2010).

41

Stem cell adalah sel induk yang belum berdiferensiasi dan mempunyai potensi tinggi untuk berkembang menjadi banyak jenis sel yang berbeda dalam jaringan yang menyusun tubuh organisme. *Stem cell* akan membelah secara simetris untuk berkembang menjadi dua sel anak yang identik, atau kemungkinan lain adalah akan membelah secara simetris untuk menghasilkan satu sel yang identik dan turunan *stem cell* yang memiliki kemampuan terbatas. *Stem cell* dengan kemampuan pluripoten atau multipoten memiliki kemampuan untuk menghasilkan banyak tipe diferensiasi sel, tetapi tidak seluruhnya. Misalkan, *stem cell* darah dengan sifat *pluripoten* akan dapat berkembang menjadi dirinya sendiri dan banyak tipe dari sel-sel darah, tetapi tidak akan pernah menjadi sel kulit. Sebaliknya, pada *stem cell* dengan kemampuan *unipoten* maka sel tersebut dapat membelah menjadi dirinya sendiri dan sel yang hanya dapat menjadi satu tipe sel saja.

B. KULTUR SEL EMBRIO DAPAT BERDIFERENSIASI MENJADI BANYAK TIPE SEL

Pembelahan sel mengindikasikan bahwa sel induk dapat menghasilkan dua sel anak yang sama dan menunjukkan reaksi seperti sel induknya adalah *simetrik*, dimana keturunannya tidak berubah komposisinya. Perbedaan dapat terjadi saat

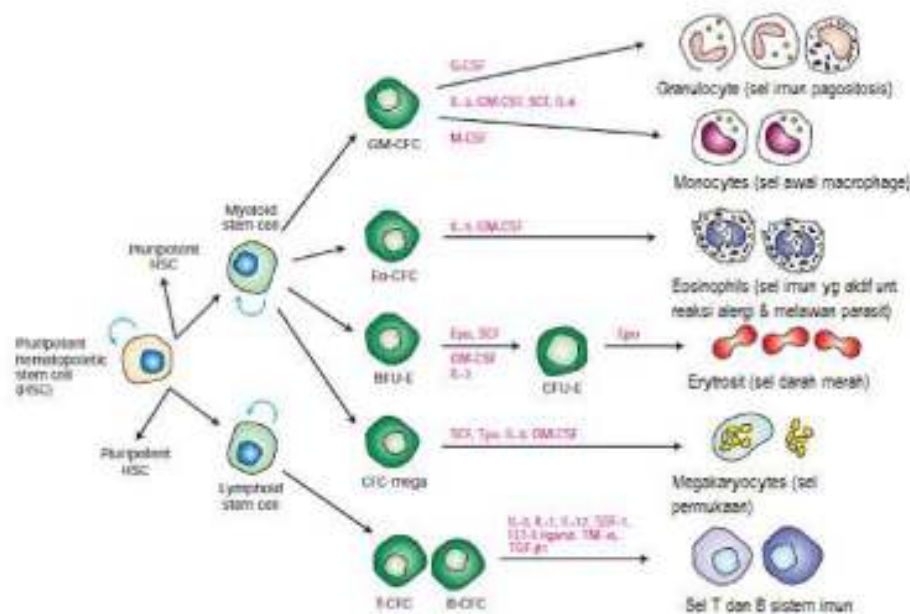
kedua sel yang identik tersebut mengalami perbedaan akibat menerima sinyal perkembangan atau sinyal yang berasal dari lingkungan. Alternatif yang mungkin terjadi adalah kedua sel anak yang terbentuk mengalami perbedaan, dimana salah satunya akan mewarisi bagian yang berbeda dari induk (seperti dijelaskan pada silsilah sel di Gambar 12.1.). Dengan demikian sel anak akan memproduksi sel yang bersifat pembelahan asimetrik dan menjadi berbeda dalam ukuran, bentuk, komposisi, atau gen pada sel tersebut mungkin berbeda dalam aktifitasnya. Perbedaan secara internal tersebut menjadikan perbedaan takdir dari dua sel anak yang terbentuk. *Stem cell* yang memiliki proses pembelahan secara simetrik memberikan kemungkinan kemampuan untuk berkembang menjadi jenis sel apapun dalam suatu jaringan dalam sistem organisme.

Stem cell yang berasal dari fase embrio dapat diisolasi dari perkembangan awal embrio mamalia dan ditumbuhkan dalam kultur sehingga memiliki kemampuan untuk berdiferensiasi menjadi banyak tipe sel secara *in vitro* atau setelah dimasukkan ke dalam embrio inang. Masing-masing sel pada *zygot* yang dihasilkan dari fertilisasi memiliki kemampuan untuk berpotensi menjadi *stem cell*. Contohnya, embrio awal tikus yang terdiri dari delapan sel maka masing-masing selnya dapat berkembang menjadi banyak tipe sel. Jika dalam suatu eksperimen masing-masing sel tersebut dipisahkan dan kemudian diimplankan pada induk, maka masing-masing sel tersebut dapat menjadi seluruh bagian tikus tanpa satu bagian pun yang tertinggal. Percobaan tersebut menunjukkan bahwa delapan sel tikus dimaksud memiliki kemampuan menjadi penyusun setiap jaringan sehingga memiliki sifat *totipotent*. Dan kemudian ketika perkembangan sel menjadi bagian dari suatu organ maka sel-sel embrionik awal tersebut tidak akan mampu kembali berkembang menjadi tahap delapan sel. pada tahap 16 sel, sel-sel tersebut sudah menjadi bagian yang berbeda, meskipun masih memiliki potensi untuk menjadi *stem cell* dengan sifat yang lain (*multipoten* atau *unipoten*).

31 *stem cell* dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat: a) *totipotensi* (*toti*=total), yaitu memiliki potensi berdiferensiasi menjadi semua jenis sel (sel ekstraembrionik, sel somatik, dan sel seksual). Jenis sel ini mampu **34** kembang menjadi organisme apabila diberikan dukungan maternal memadai. b) *pluripotensi* (*pluri*=jamak) atau *multipotensi* adalah sel-sel induk yang dapat berdiferensiasi menjadi jenis sel tertentu dalam tubuh **31** tetapi tidak dapat membentuk organisme. c) sel induk dengan *unipotensi*, hanya dapat menghasilkan satu jenis sel tertentu, tetapi memiliki kemampuan memperbarui diri yang tidak dimiliki oleh sel yang bukan sel induk.

Saat embrio berkembang dengan komposisi 30 **35** sel (*blastocyst*), maka sel-sel tersebut memiliki kemampuan pluripotent karena dapat berdiferensiasi menjadi banyak tipe sel dalam tubuh. Dalam kondisi normal, *blastocyst* tertanam dalam dinding uterus untuk kemudian menjadi embryo dan berkembang menjadi organisme yang matang. Di luar, sel-sel tersebut berkembang menjadi plasenta dan di dalam massa sel akan berkembang menjadi sel dengan tipe diferensiasi khusus.

Saat *blastocyst* dipergunakan sebagai penelitian stem cell, maka perlu dipindahkan dalam media yang kaya dan dikulturkan untuk berkembang menjadi *stem cell* embrionik. *Stem cell* embrionik ini lebih fleksible dibandingkan stem cell yang didapatkan dari individu dewasa, karena lebih potensial untuk memproduksi berbagai tipe sel dalam tubuh manusia. Selain itu kultur sel embrionik lebih mudah untuk dikoleksi, dimurnikan dan diatur dalam laboratorium daripada stem cell individu dewasa. Keberadaan *stem cell* embrionik dan perkembangan secara *pluripoten* nampak seperti dalam Gambar 12.3.



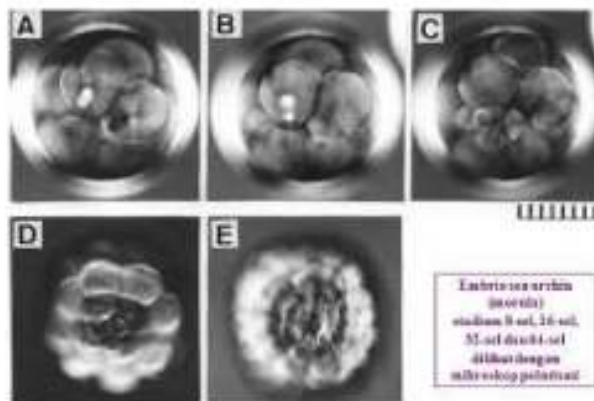
Gambar 12.3. Formasi dari diferensiasi sel-sel darah yang berasal dari *stem cell* hematopoietic dalam sumsum tulang. *Stem cell* yang bersifat pluripotent mungkin akan membelah secara simetrik membentuk dirinya sendiri atau menjadi myeloid atau stem cell lymphoid dan satu sel anak yang pluripoten seperti sel awalnya. Meskipun stem cell ini memiliki kemampuan memperbanyak dirinya, sel-sel tersebut konsisten menjadi satu atau dua jenis jalur *hematopoietic* saja. Berdasarkan tipe dan jumlah dari *cytokineses* yang ada, stem cell *myeloid* dan *lympoid* akan menghasilkan tipe sel awal yang berbeda (sel-sel berwarna hijau), dimana masing-masing sel tersebut tidak memiliki kemampuan untuk membelah seperti sel induk (*myeloid* dan *lympoid*). Sel awal tersebut terdeteksi oleh kemampuannya untuk menyusun koloni yang berdasarkan tipe sel seperti ditunjukkan, terlihat dari '*colony-forming cells* (CFCs). Koloni tersebut terdeteksi dalam limpa sel hewan yang mampu menghilangkan sel-selnya dan sekaligus menghasilkan sel awal. (Sumber: Lodish, *et al.* 2010).

Berdasarkan a. *stem cell* dapat diambil pada bagian: a) sel punca embrionik (*embryonic stem cell*), yang diambil dari embrio pada fase *blastosit* (5-7

98
hari setelah pembuahan). b) sel germinal (*embryonic germ cells*) diambil dari sel benih (sperma/ovum) dan ada sesaat pada embrio sebelum terasosiasi dengan sel somatik dan menjadi sel germinal. Pada janin usia 5-9 minggu, dan memiliki sifat pluripotensi. c) sel punca *fetal*, dapat ditemukan pada organ *fetus* seperti darah, plasenta, dan tali pusat janin. d) sel punca dewasa (*adult stem cells*) dengan dua karakteristik yaitu: berproliferasi untuk periode yang panjang untuk memperbarui diri, dan dapat berdiferensiasi menghasilkan sel khusus dengan karakteristik morfologi dan fungsi spesial. e) sel punca kanker (*cancer stem cell*) adalah sel yang mampu mengaktifasi lintasan onkogenik berupa tumorigenesis yang membuat sel normal mengalami fase inisiasi tumor.

Stem cell dengan kemampuan totipotensi dapat dilihat dari hasil penelitian pada telur yang sudah dibuahi, atau *zygot* tikus. Zygote tersebut memiliki kemampuan totipoten karena memiliki kemampuan untuk menghasilkan sel dengan banyak tipe dalam tubuh. Meskipun belum ada teknologi dari stem cell yang dapat mereproduksi dirinya sendiri, tetapi zygote tersebut memberikan harapan dengan adanya stem cell tersebut. Contoh, pada fase embrio awal dari tikus yaitu saat fase delapan sel dimana masing-masing sel tersebut memiliki kemampuan untuk berkembang menjadi banyak tipe sel pada embrio. Jika dilakukan eksperimen pemisahan terhadap delapan sel tersebut dilakukan pemisahan dan masing-masing selnya dimasukkan dalam induk yang memungkinkan, maka masing-masing sel tersebut akan mampu berkembang menjadi satu ekor tikus utuh yang bahkan tidak ada satu bagianpun yang tertinggal. Eksperimen tersebut menunjukkan bahwa delapan sel awal tersebut memiliki kemampuan untuk berkembang menjadi setiap jaringan yang ada dalam tubuh, dan kemampuan tersebut disebut *totipoten*.

Delapan sel yang dihasilkan dari zygote mamalia hasil dari fertilisasi sel telur akan terlihat sama. Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan pada domba, masing-masing sel tersebut sangat potensial untuk berkembang menjadi hewan yang utuh. Setelah sel-sel tersebut berkembang menjadi 64 sel, maka akan terbagi menjadi dua tipe, yaitu: 1) akan berkembang menjadi jaringan di luar embrio seperti placenta, dan 2) massa sel bagian dalam, yang akan berkembang menjadi keseluruhan embrio lengkap. Massa sel bagian dalam tersebut akan berkembang menjadi tiga lapis sel, yang masing-masing akan mengikuti jalannya pertumbuhan. Satu lapis adalah *ectoderm*, akan berkembang menjadi sel-sel neural dan epidermal, lapis berikutnya *mesoderm* yang akan berkembang menjadi otot dan hubungan antar jaringan. Lapisan ketiga adalah *endoderm* yang akan berkembang menjadi epitel.



Gambar 12.4. Fase embrionik (morula) yang merupakan stem cell embrionik dan mampu berkembang menjadi individu yang utuh. A dan B) fase stadium 4 sel, C) stadium 16 sel, D) stadium 32 sel, dan E) stadium 64 sel. (Sumber: Sutiman, 2013).

Perkembangan jaringan yang berasal dari tiga lapisan dasar pada tahap awal embrionik dapat dicermati pada Tabel 12.1. berikut:

Tabel 12.1. Perkembangan jaringan pada tahap awal embrionik

ECTODERM	MESODERM	ENDODERM
Sistem syaraf pusat	Tengkorak	Perut
Retina dan lensa mata	Kepala, otot skeletal	Colon
Sensor pada tengkorak	Tulang	Hati
Urat syaraf	Dermis kulit	Pankreas
Sel-sel pigmen	Jaringan penghubung	Saluran kencing
Jaringan penghubung kepala	Sistem urogenital	Bagian epitel
Epidermis	Hati	- tenggorokan
Rambut	Darah, sel-sel limpa	- paru-paru
Kelenjar susu	Limpa	- kerongkongan
		- tyroid
		- usus besar

C. PERKEMBANGAN STEM CELL UNTUK PENGOBATAN

Stem cell dengan kemampuannya untuk berkembang menjadi banyak tipe sel dalam tubuh memberikan harapan baru dalam dunia pengobatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa transplantasi sumsum tulang secara sukses dapat dipergunakan secara luas untuk pengobatan. Transplantasi stem cell sumsum tulang dapat diterapkan untuk penyakit darah keturunan dan pasien kanker yang sudah menjalani radiasi atau kemoterapi.

Selain stem cell embrionik, terdapat juga *stem cell* yang berasal dari jaringan dewasa (*adult stem cell*) yang biasanya terletak tersembunyi dalam organ, terkeping oleh jutaan sel yang biasa dan biasanya menolong untuk melengkapi beberapa bagian tubuh saat dibutuhkan. Kenyataannya, sel-sel punca dewasa tersebut biasanya dipergunakan untuk terapi suatu penyakit.

Stem cell dewasa tersebut dipergunakan untuk pengobatan pada berbagai penyakit: jantung, hati, parkinson, diabetes, alzheimer, stroke, cedera saraf tulang belakang, dan distrofi otot. Misalkan, pengobatan diabetes dilakukan dengan penyisipan sel punca pada 'pulau langerhans' yang ada di pankreas untuk dapat memproduksi insulin. Pengobatan penyakit hati dengan menyisipkan sel punca pada liver dalam jumlah yang cukup banyak untuk menjadi pembuluh-pembuluh darah baru yang mampu memperbaiki fungsi hati.

Pengobatan diabetes dengan menggunakan *stem cell* dilakukan dengan mengembangkan terlebih dahulu menggunakan binatang, khususnya tikus. Implan sel manusia dalam tubuh binatang seperti tikus biasa dilakukan untuk menguji keefektifan obat baru yang dihasilkan, sebelum diterapkan pada manusia. Untuk penelitian *stem cell* akan dilakukan penggabungan dalam suatu jaringan, yang tidak akan menimbulkan konsekuensi berbahaya, dan berfungsi sesuai dengan tempat dalam tubuh. Contohnya, sebelum *stem cell* pada pengobatan diabetes tipe I dimasukkan dalam tubuh manusia, maka akan ditransplantasikan terlebih dahulu dalam tikus untuk mengetahui kesehatan, serta jenis insulin yang dihasilkan. Jika metode tersebut sukses diterapkan dalam tubuh tikus, maka terapi insulin tersebut akan diterapkan untuk pengobatan diabetes pada manusia.

Penyakit lain yang dapat diterapi dengan *stem cell* dan saat ini terus dikembangkan adalah penyakit leukimia, sel sabit penyebab anemia, kerusakan sumsum tulang, dan banyak penyakit metabolis serta penyakit yang terkait dengan kekebalan tubuh yang diterapi dengan *stem cell* sehingga kemampuan darah untuk kepentingan imunitas tersebut dapat meningkat kembali. Penggunaan *stem cell hematopoietic* merupakan harapan untuk menghasilkan banyak tipe sel termasuk sel darah putih. Akan tetapi dihasilkannya banyak tipe sel darah dari tersebut masih membutuhkan pembuktian melalui banyak kegiatan penelitian dan memberikan harapan di masa depan.

Sebelumnya penggunaan *stem cell hematopoietic* hanya dipergunakan untuk terapi dan transplantasi sumsum tulang belakang. Persyaratan utama adalah donor dan penerima harus memiliki kesesuaian secara genetik, karena perbedaan secara genetik akan menjadikan sel-sel darah yang dihasilkan dari transplantasi akan dianggap sebagai benda asing oleh sel imun sehingga justru akan terjadi penolakan dalam tubuh penerima. Alasan tersebutlah yang menjadikan syarat utama dituntutnya kesamaan genetik antara pendonor dan penerima.

Kemungkinan penggunaan terapi *stem cell* untuk perbaikan atau menggantikan jaringan yang rusak masih dibutuhkan penelitian lanjutan tentang bagaimana mengenal dan mengkultur *stem cell* dari embrio dan dari berbagai jenis tipe jaringan hewan dewasa lainnya. Misalkan jika neuron dapat menghasilkan *neurotransmitter dopamine* yang dapat menghasilkan *stem cell* yang ditumbuhkan dalam kultur, yang memungkinkan untuk treatment penderita penyakit *parkinsons*, merupakan penyakit syaraf karena hilangnya banyak *neuron*. Penyakit tersebut

ditunjukkan dengan adanya gejala tidak terkontrolnya pergerakan tubuh seseorang, terus gemetar, dan mengalami kejang-kejang. Hal tersebut disebabkan karena adanya banyak kematian sel-sel otak sehingga koordinasi terhadap pergerakan otot tubuh tidak terkendali. Karena parkinsons merupakan penyakit yang disebabkan oleh hilangnya satu jenis sel syaraf yang spesifik, maka sangat memungkinkan untuk dilakukan terapi stem cell terhadap penyakit tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan stem cell embrionik menjadi tipe spesifik sel otot dapat mengobati penyakit parkinsons. Transplantasi stem cell syaraf dewasa juga sukses dilakukan pada tikus, dan untuk membuktikan efektifitas dan keselamatan penggunaannya yang apabila ditransplantasikan pada otak penderita maka dibutuhkan pengamatan terus menerus untuk mengontrol perkembangan dan pergerakannya. Dan hasil transplantasi neurons embrionik pada lebih dari 300 penderita parkinsons, beberapa sel yang disisipkan mampu bertahan lebih dari 12 tahun dan menunjukkan peningkatan secara signifikan.

Stem cell pada tanaman terletak pada meristem, populasi sel yang belum terdiferensiasi dan dapat ditemukan pada bagian ujung akar yang tumbuh. Meristem apical akar (*Shoot apical meristem/ SAMs*) dapat memproduksi daun dan akar, dan juga banyak jenis sel lain dan merupakan jaringan meristem yang tidak dapat mati. Meristem tersebut dapat terus berkembang untuk ribuan tahun sepanjang kehidupan spesies tumbuhan tersebut seperti pohon merah dan cemara.

D. ETIKA, MORAL, DAN NILAI DALAM PENGGUNAAN STEM CELL.

Semakin meluasnya penelitian tentang stem cell membutuhkan pemikiran dan pertimbangan dalam implikasinya. Tahun 2005, National Academic di Amerika mengeluarkan panduan untuk ilmuwan yang akan melakukan penelitian terkait penggunaan stem cell embrionik untuk memperhatikan etika dan norma terkait penggunaannya yang sangat sensitif untuk sebagian orang. Penting untuk diperhatikan oleh peneliti penggunaan *stem cell* terkait dari sisi agama, moral, politik dan masyarakat secara keseluruhan untuk evaluasi dan komunikasi terkait etika implikasi penggunaannya.

Kontroversi muncul saat penelitian dengan menggunakan stem cell embrionik menimbulkan banyak pertanyaan terkait dengan kontrasepsi, aborsi, dan pembuahan secara *in vitro*. Kontroversi terkait dengan kehidupan awal manusia, legalitas, dan moral dari embrio tersebut. Meskipun terdapat banyak embrio pada fase *blastocyst* yang 'dibuang' karena banyak alasan medis maupun non medis bukan berarti bahwa secara moral dapat dilegalkan atau diterima penggunaan embrio tersebut dalam kegiatan penelitian.

Penggunaan stem cell embrionik tersebut bagi sebagian orang atau kalangan secara moral tidak bisa diterima meskipun hal itu dipergunakan untuk penelitian atau terapi berbagai penyakit. Hal ini disebabkan karena mereka percaya bahwa kehidupan manusia dimulai dari terjadinya awal pembuahan dan

Penggunaan hewan sebagai subyek uji coba merupakan hal penting untuk mengetahui keefektifan perkembangan *stem cell* sebelum dilakukan transplantasi dalam tubuh manusia. Misalnya implan *stem cell* manusia dalam tubuh tikus untuk mengamati proses yang terjadi saat pengembangan dan penyatuan tipe jaringan tersebut. Penggunaan hewan coba tersebut bertujuan untuk memastikan dan mendapatkan informasi penyakit yang mungkin muncul dalam *blastocyst* tikus, sehingga dapat dilakukan penelitian tentang kapan dan bagaimana sel mulai terserang penyakit dan dapat juga untuk tes penggunaan obat yang memungkinkan mengatasi proses penyerangannya.

Organisme yang berisi sel-sel atau jaringan-jaringan yang berasal dari individu lain, sama atau berbeda spesiesnya disebut *chimera*. Contoh *chimera* adalah tikus yang diinjeksikan dengan sel-sel manusia untuk mengetahui penyakit manusia sekaligus pengobatannya dengan obat baru. Seseorang yang harus transfusi darah atau harus menerima transplantasi hati dari babi merupakan teknik chimera juga, dan berkembang dengan baik. Secara etika, penggunaan chimera merupakan issue yang terkadang masih diperdebatkan dan didiskusikan oleh sesama ilmuwan, khususnya *chimera* yang berisi dua komponen sel atau jaringan yang berasal dari hewan dan manusia.



Gambar 12.5. Contoh *chimera*, dengan tikus yang berisi sel-sel yang berasal dari manusia dan hewan. (Sumber: National Academic.)

Sumber sel punca yang salah satunya adalah berasal dari janin manusia yang gagal lahir atau digugurkan banyak ditentang agamawan. Selain dari sel embrio yang jelas menimbulkan kontroversi, sel punca dari organ dewasa juga diperdebatkan karena tetap merupakan pengambilan dari organ tertentu.

RANGKUMAN

1. Sel mengawali silsilah kehidupannya dengan *stem cell* atau sel punca, yaitu sel yang belum terspesialisasi dan secara potensial dapat mereproduksi dirinya sendiri serta menghasilkan banyak sel yang belum terdefinisikan.
2. Silsilah sel dikontrol oleh faktor internal, dengan mengikuti alur hidupnya melalui pengaturan secara internal, dan faktor eksternal yang mempengaruhi silsilah sel meliputi signal yang terjadi antar sel dan kondisi lingkungan sel.
3. Pembelahan sel untuk mengawali silsilah sel dapat terjadi secara *simetrik* yang identik dan sama persis atau secara *asimetrik* yang memiliki perbedaan dari sisi bentuk, ukuran, dan komposisi gen.
4. *Stem cell* dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat: a) *totipotensi* (*toti*=total), b) *pluripotensi* (*pluri*=jamak) atau *multipotensi*, dan c) *unipotensi*.
5. Kemampuan *stem cell* memberikan kemungkinan dikembangkan di banyak bidang, khususnya kesehatan dan pengobatan banyak penyakit.
6. Penggunaan *stem cell* perlu mempertimbangan dari sisi etika, moral, dan keyakinan sehingga tidak menyimpang dari nilai-nilai kehidupan.

PERTANYAAN 12

1. Jelaskan perbedaan sifat yang dimiliki *stem cell*, berdasarkan potensi membelah dan diferensiasinya.
2. Berikan satu contoh penggunaan *stem cell* dalam bidang kesehatan.
3. Meskipun penggunaan *stem cell* banyak menjanjikan kemajuan di bidang kesehatan, tetapi terdapat berbagai kontroversi dalam penggunaannya. Jelaskan pendapat Saudara mengenai kontroversi yang ada terhadap penggunaan *stem cell*.

DAFTAR RUJUKAN

- 45 Campbell N.A, Reece J.B, Urry L.A.,Cain M.L., Wasserman S.A, Minorsky P.V. 2008. Biology 8thed.Pearson Benjamin Cummings USA.
- Clark, D. 2005, *Molecular Biology*. USA: Elsevier Academic Press.
- 86 De Robertis, E.D. P., Saez, F.A., & De Robertis, E.M.F. 1975. Cell Biology. Saunders. Universitas Michigan.
- 85 Hartl, D.L & Jones, E.W. 1998. *Genetics: Principles and Analysis, Fourth Edition*. USA: Jones and Bartlett Publishers, inc.
- Lodish H, Berk A, Zipursky LS. 2004. *Molecular Cell Biology* 4th ed. Scientific American Books. New York.
- 110 Passarge, E. 2007. *Color Atlas of Genetics, 3rd edition*. Stuttgart: Thieme.
- Sheeler, P. & Bianchi, D.E. 2010. Cell and Molecular Biology. Wiley. Universitas Michigan.
- Sutiman, B.S., Sri Widyarti, Sofy Permana. 2013. Cell Biology. Universitas Brawijaya. Malang.
- 99 Tamarin, R.H. 2001. *Principles of Genetics, Seventh Edition*. USA: The McGraw-Hill Companies.



MARHENY LUKITASARI,

Lahir di Madiun pada 14 Mei 1974. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Klegen II Madiun, dilanjutkan di SMPN 1 Madiun, dan SMAN 1 Madiun. Pendidikan Sarjana ditempuh di Universitas Brawijaya Malang dan lulus tahun 1999. Penulis menjadi dosen sejak tahun 2000 dan masih aktif hingga sekarang di jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP PGRI Madiun. Penulis melanjutkan studi Pasca Sarjana di Universitas Negeri Malang dan lulus sebagai Magister Pendidikan Biologi di tahun 2011. Saat ini penulis sedang melanjutkan studi Doktor di Universitas yang sama. Selama menjadi dosen penulis aktif melakukan kegiatan ilmiah dengan mengadakan penelitian secara mandiri maupun teman sejawat. Penulis pernah lolos penelitian Dosen Muda yang diselenggarakan Dikti di tahun 2007 dan 2008 serta berperan aktif membimbing mahasiswa di ajang Program Kreatifitas Mahasiswa (PKM).

ISBN 978-979-19031-2-7



9 789791 903127

ORIGINALITY REPORT

16%

SIMILARITY INDEX

16%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

3%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

beauty-arina.blogspot.com

Internet Source

2%

2

levii-medical.blogspot.com

Internet Source

1%

3

repository.uinjkt.ac.id

Internet Source

1%

4

www.slideshare.net

Internet Source

<1%

5

repository.usu.ac.id

Internet Source

<1%

6

eprints.unsri.ac.id

Internet Source

<1%

7

vdocuments.site

Internet Source

<1%

8

mangihot.blogspot.com

Internet Source

<1%

9

edoc.site

Internet Source

<1%

10	ebiologi2010.blogspot.com Internet Source	<1 %
11	ar.scribd.com Internet Source	<1 %
12	variansmakalah.blogspot.com Internet Source	<1 %
13	fr.scribd.com Internet Source	<1 %
14	elinbawekes.blogspot.com Internet Source	<1 %
15	halimah-arni.blogspot.my Internet Source	<1 %
16	puguhpriyanto.blogspot.com Internet Source	<1 %
17	falentina-sitanggang.blogspot.com Internet Source	<1 %
18	gurumudabicara.blogspot.com Internet Source	<1 %
19	oryza-sativa135rsh.blogspot.com Internet Source	<1 %
20	insanilmiah.blogspot.co.id Internet Source	<1 %
21	izrablog.blogspot.com Internet Source	<1 %

22

indayanafebriani.blogspot.com

Internet Source

<1 %

23

adeariyani13.blogspot.com

Internet Source

<1 %

24

angga-dkpsumsel.blogspot.com

Internet Source

<1 %

25

fajarulhudaprakoso.blogspot.com

Internet Source

<1 %

26

eviadiyanti.blogspot.com

Internet Source

<1 %

27

dankbioma.blogspot.com

Internet Source

<1 %

28

pintar-biologi.blogspot.com

Internet Source

<1 %

29

lombok-jemptrit.blogspot.com

Internet Source

<1 %

30

slipknotfl05.blogspot.com

Internet Source

<1 %

31

id.wikipedia.org

Internet Source

<1 %

32

anti-remed.blogspot.com

Internet Source

<1 %

33

sule-gratis.blogspot.com

Internet Source

Internet Source

<1 %

34

ulfaawpew.blogspot.com

Internet Source

<1 %

35

brightsymphoni.blog.unsoed.ac.id

Internet Source

<1 %

36

iputh-biozone.blogspot.com

Internet Source

<1 %

37

adzhar-arsyad.blogspot.com

Internet Source

<1 %

38

maimunabd.blogspot.com

Internet Source

<1 %

39

mzierkhamdi.blogspot.com

Internet Source

<1 %

40

wawasanbiologi.blogspot.com

Internet Source

<1 %

41

solusisehatcellmaxx.wordpress.com

Internet Source

<1 %

42

lontips.blogspot.com

Internet Source

<1 %

43

biokimiascience.blogspot.com

Internet Source

<1 %

44

rohmatfapertanian.wordpress.com

Internet Source

<1 %

45	issuu.com	<1 %
	Internet Source	

46	belajarbiologyumagera.blogspot.com	<1 %
	Internet Source	

47	superviaspot.blogspot.com	<1 %
	Internet Source	

48	dyhcpta.blogspot.com	<1 %
	Internet Source	

49	Submitted to Syiah Kuala University	<1 %
	Student Paper	

50	rajaning.blogspot.com	<1 %
	Internet Source	

51	edoc.pub	<1 %
	Internet Source	

52	www.biologi-sel.com	<1 %
	Internet Source	

53	id.123dok.com	<1 %
	Internet Source	

54	yoesfeelingku.blogspot.com	<1 %
	Internet Source	

55	mandhikapratama.blogspot.com	<1 %
	Internet Source	

56	mimetakamine.blogspot.com	
----	---------------------------	--

Internet Source

<1 %

57

panji-pangie.blogspot.com

Internet Source

<1 %

58

blognaghgeo.blogspot.com

Internet Source

<1 %

59

Submitted to Universitas Brawijaya

Student Paper

<1 %

60

www.keluarganawra.com

Internet Source

<1 %

61

Submitted to Universitas Diponegoro

Student Paper

<1 %

62

avivazania.blogspot.com

Internet Source

<1 %

63

sainsbio4d.blogspot.com

Internet Source

<1 %

64

etheses.uin-malang.ac.id

Internet Source

<1 %

65

pasca-farmasi.uad.ac.id

Internet Source

<1 %

66

www.medicinesia.com

Internet Source

<1 %

67

poetra-fositifthinking.blogspot.com

Internet Source

<1 %

68	gentarbumimesuji.blogspot.com Internet Source	<1 %
69	izetie.wordpress.com Internet Source	<1 %
70	fizay89.blogspot.com Internet Source	<1 %
71	ml.scribd.com Internet Source	<1 %
72	myfkip.blogspot.com Internet Source	<1 %
73	ariafridayanti07.blogspot.com Internet Source	<1 %
74	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
75	legalstudies71.blogspot.com Internet Source	<1 %
76	amaziua.blogspot.com Internet Source	<1 %
77	nurul-nst.blogspot.com Internet Source	<1 %
78	candracr.blogspot.com Internet Source	<1 %
79	bioselisthebest.blogspot.com	

Internet Source

<1 %

80

repository.wima.ac.id

Internet Source

<1 %

81

medinlab.blogspot.com

Internet Source

<1 %

82

Submitted to Universitas Negeri Makassar

Student Paper

<1 %

83

wwwbelajarilmu.blogspot.com

Internet Source

<1 %

84

1310riskiaa.blogspot.com

Internet Source

<1 %

85

Submitted to University of Edinburgh

Student Paper

<1 %

86

home.um.edu.mt

Internet Source

<1 %

87

atomicmed.blogspot.com

Internet Source

<1 %

88

blog.ub.ac.id

Internet Source

<1 %

89

materikesehatankita.blogspot.com

Internet Source

<1 %

90

biorhy.blogspot.com

Internet Source

<1 %

91	ish-bojonegoro.blogspot.com Internet Source	<1 %
92	r10pr4t4m4.blogspot.co.id Internet Source	<1 %
93	rsnpelajarannn.blogspot.com Internet Source	<1 %
94	heteropodavenataria.blogspot.com Internet Source	<1 %
95	g-egen.blogspot.com Internet Source	<1 %
96	Submitted to Academic Library Consortium Student Paper	<1 %
97	islamiardela.wordpress.com Internet Source	<1 %
98	beza97.blogspot.com Internet Source	<1 %
99	sv.m.wikipedia.org Internet Source	<1 %
100	Submitted to UIN Sunan Gunung Djati Bandung Student Paper	<1 %
101	ahid26.blogspot.com Internet Source	<1 %
102	edu.autada.com	

Internet Source

<1 %

103 putu-yudiarta.blogspot.com
Internet Source

<1 %

104 wayannila.blogspot.com
Internet Source

<1 %

105 arira-sanuqo.blogspot.com
Internet Source

<1 %

106 literacyofscientific.blogspot.com
Internet Source

<1 %

107 pangestikagalih.blogspot.com
Internet Source

<1 %

108 nadianurms.blogspot.com
Internet Source

<1 %

109 Submitted to Universitas Muhammadiyah
Surakarta
Student Paper

<1 %

110 Submitted to University of Newcastle upon Tyne
Student Paper

<1 %

111 asrie02.blogspot.com
Internet Source

<1 %

112 sofialrahmah.blogspot.com
Internet Source

<1 %

forestseaheaven12.blogspot.com

113	Internet Source	<1 %
114	idazuhriyah.blogspot.com Internet Source	<1 %
115	kazabarabiologi.blogspot.com Internet Source	<1 %
116	lovelyteacherrita.blogspot.com Internet Source	<1 %
117	Submitted to Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya Student Paper	<1 %
118	suharmitadarmin.blogspot.com Internet Source	<1 %
119	jhefly.blogspot.com Internet Source	<1 %
120	haswikahasan.blogspot.com Internet Source	<1 %
121	alhakimslank.blogspot.com Internet Source	<1 %
122	documents.mx Internet Source	<1 %
123	jamilahsay.wordpress.com Internet Source	<1 %

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 10 words