

Modul 1:

Biomaterial

PENDAHULUAN

Biomaterial adalah bidang yang menggunakan ilmu dari berbagai disiplin ilmu yang membutuhkan pengetahuan dan pemahaman mendasar dari sifat-sifat material pada umumnya, dan interaksi dari material dengan lingkungan biologis. Bidang biomaterial didesain untuk memberikan pemahaman dan pengejajaran dibidang fisika, kimia, biologi dari material dan juga dengan berbagai bidang dari teknik secara umum seperti matematika, kemasyarakatan, dan ilmu sosial. Sebagai tambahan, mahasiswa yang berurusan dengan bidang ini harus mencapai pemahaman yang mendalam dan berusaha untuk memperoleh pengalaman pada penelitian biomaterial. Ketika pemahaman mahasiswa mengenai prinsip dasar dari ilmu material teraplikasikan, pemahaman penuh dari biomaterial dan aplikasinya dengan lingkungan biologis juga membutuhkan derajat yang lebih tinggi dari spesialisasi ilmu yang ada.

Bidang biomaterial mengarah pada ilmu material dan bidang ilmu biologi serta kimia. Material buatan manusia meningkat sesuai dengan penggunaan aplikasinya seperti pada *drug-delivery* dan terapi gen (*gene therapy*), perancangan untuk rekayasa jaringan (*tissue engineering*), penggantian bagian tubuh (*body replacement*), serta alat biomedis dan bedah. Peningkatan ini sejalan dengan meningkatnya kebutuhan manusia akan tingkat kehidupan yang lebih baik.

Biomaterial berkenaan dengan aspek bidang material dari peralatan medis. Seorang ilmuwan biomaterial berurusan dengan sifat kimia dan fisika dari material dan kecocokannya untuk perangkat khusus. Hal tersebut berkaitan dengan bagaimana sifat ini berubah dengan lingkungan biologis dan bagaimana material mempengaruhi tubuh.

Pembelajaran mengenai keterkaitan tersebut sangat penting untuk di pelajari dan sangat berkembang pesat saat ini. Biomaterial memperbaiki kualitas hidup sekaligus menyelamatkan nyawa banyak orang tiap tahunnya. Area aplikasi dari biomaterial ini sangat luas dan meliputi beberapa bagian seperti *join* dan *limb replacement*, arteri dan kulit buatan, lensa kontak dan gigi buatan. Permintaan akan material ini meningkatkan dari para pemula dengan harapan kualitas hidup yang tinggi. Komunikasi biomaterial menghasilkan

dan meningkatkan material implan dan tekniknya untuk memenuhi permintaan ini, tetapi juga dapat membantu perlakuan dari pasien muda dimana sifat yang diperlukan dan sangat banyak diminta. Akibat dari kemajuan teknologi ini adalah meningkatnya tingkat peraturan dan ancaman dari perkara hukum mengenai keterkaitannya terhadap material implantasi pada tubuh manusia dan diatur dalam perundang-undangan. Untuk menindaklanjuti hal ini maka sangat sesuai dilakukan investigasi metode yang dapat dipercaya dari karakterisasi material dan interaksinya.

Kegiatan Pembelajaran 1: Pengenalan Biomaterial

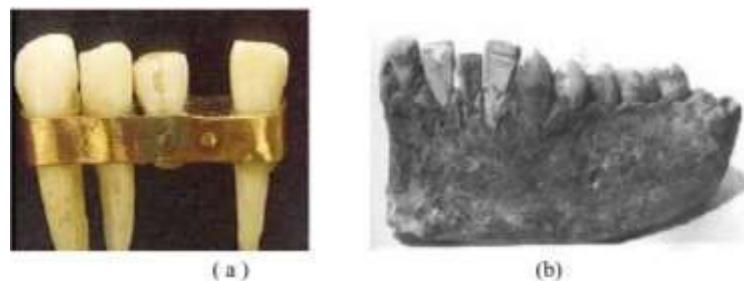
KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa memiliki pengertian biomaterial
2. Mahasiswa mampu mengetahui Fungsi Biomaterial

URAIAN MATERI

Sejarah Umum Biomaterial

Definisi biomaterial secara umum adalah suatu material tak-hidup yang digunakan sebagai perangkat media dan mampun berinteraksi dengan sistem biologis. Adanya interaksi ini mengharuskan setiap biomaterial memiliki sifat biokompatibilitas, yaitu kemampuan suatu material untuk bekerja selaras dengan tubuh tanpa menimbulkan efek lain yang berbahaya. Ide untuk menggantikan organ manusia yang rusak dengan menggunakan material yang takhidup ini telah ada sejak lebih dari dua ribu tahun yang lalu dimulai oleh Bangsa Romawi, China dan Aztec yang memiliki peradaban kuno tercatat menggunakan emas untuk perawatan gigi. Pada masa itu perkembangan biomaterial diuji coba secara *trial and error* terhadap tubuh manusia ataupun binatang namun tingkat kesuksesannya tidak maksimal.



Gambar 1.1 Penggunaan emas (a) dan kayu (b) sebagai salah satu biomaterial yang digunakan di bidang kedokteran gigi di masa lalu

Pengertি Biomaterial

Biomaterial adalah semua materi sintetik yang digunakan untuk menggantikan atau memperbaiki fungsi jaringan tubuh berkelanjutan atau sekedar bersentuhan dengan cairan tubuh kadangkala terbatas, karena tidak meliputi seperti instrument bedah atau dental. Walaupun instrument ini digunakan pada cairan tubuh, instrument ini tidak akan menggantikan atau memperbanyak fungsi dari jaringan tubuh manusia. Biomaterial pada dasarnya adalah material dari bahan hayati; setiap substansi (selain obat) atau kombinasi substansi, sintesis atau alami, yang dapat dipakai pada periode waktu tertentu, sebagai bagian atau keseluruhan sistem yang memperlakukan menggadakan atau mengganti setiap jaringan, organ ataupun fungsi tubuh. Biomaterial berkenaan dengan aspek bidang material dari peralatan medis. Seorang ilmuan biomaterial berurusan dengan sifat kimia dan fisika dari material dan kecocokannya untuk perangkat khusus. Hal tersebut berkaitan dengan bagaimana sifat ini berubah dengan lingkungan biologis dan bagaimana material mempengaruhi tubuh. Pembelajaran mengenai keterkaitan tersebut sangat penting untuk dipelajari dan sangat berkembang pesat saat ini.

Sedangkan menurut Larsson, dkk (2007), biomaterial adalah suatu material dengan sifat baru yang digunakan sebagai perangkat medis dan mampu berinteraksi dengan sistem biologis. Biomaterial merupakan bidang dengan berbagai disiplin ilmu yang membutuhkan pengetahuan dan pemahaman mendasar dari sifat-sifat material secara umum dan interaksi material dengan lingkungan biologis. Biomaterial adalah material yang mengalami kontak langsung dengan sistem biologi pada makluk hidup, material tersebut diharuskan memiliki beberapa persyaratan, antara lain tidak menimbulkan pengaruh buruk pada tubuh, memiliki ketahanan terhadap korosi dan memiliki ketahanan terhadap korosi dan memiliki kekuatan yang baik terutama kekuatan fatik dan ketangguhan.

Fungsi Biomaterial

1. Sebagai pengganti bagian yang rusak
2. Berperan dalam proses penyembuhan
3. Memperbaiki fungsi tubuh
4. Membantu diagnose dan perawatan
5. Memperbaiki kualitas hidup sehingga menciptakan saraf kesehatan yang lebih baik
6. Menyelamatkan jiwa banyak orang

Contoh Soal 1.1

Jelaskan pengertian biomaterial secara umum ?

Jawaban :

biomaterial secara umum adalah suatu material tak-hidup yang digunakan sebagai perangkat media dan mampun berinteraksi dengan sistem biologis. Adanya interaksi ini mengharuskan setiap biomaterial memiliki sifat biokompatibilitas, yaitu kemampuan suatu material untuk bekerja selaras dengan tubuh tanpa menimbulkan efek lain yang berbahaya

Contoh Soal 1.2

Sejak lebih dari dua ribu tahun yang lalu dimulai Pada zaman bangsa romawi romawi, china dan Aztec material yang dipakai oleh bangsa romawi adalah

Jawaban :

Material yang dipake pada bangsa Romawi, china dan Aztec adalah material emas

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan sikusikan mengenai biomaterial
2. Bentukkan kelompok kecil apa saja yang dipakai dalam biomaterial alam

RANGKUMAN

1. Definisi biomaterial secara umum adalah suatu material tak-hidup yang digunakan sebagai perangkat media dan mampun berinteraksi dengan sistem biologis. Adanya interaksi ini mengharuskan setiap biomaterial memiliki sifat biokompatibilitas, yaitu kemampuan suatu material untuk bekerja selaras dengan tubuh tanpa menimbulkan efek lain yang berbahaya
2. Biomaterial berurusan dengan sifat kimia dan fisika dari material dan kecocokannya untuk perangkat khusus.
3. Biomaterial adalah ilmu yang mempelajari tentang struktur, komposisi, sifat dan manipulasi material kedokteran gigi yang berkontak dengan jaringan keras / lunak tubuh manusia. Berinteraksi dengan sistem biologis untuk mengembalikan fungsi dan estetik di dalam suatu sistem stomagenik di dalamnya juga diuraikan mengenai perkembangan material, cara memilih dan mengevaluasi serta pemakaian material di bidang kedokteran.
4. Fungsi Biomaterial :
 - a. Sebagai pengganti bagian yang rusak,
 - b. Berperan dalam proses penyembuhan,
 - c. Memperbaiki fungsi tubuh,
 - d. Membantu diagnosa dan perawatan,
 - e. Memperbaiki kualitas hidup sehingga menciptakan taraf kesehatan yang lebih baik,
 - f. Menyelamatkan jiwa banyak orang

EVALUASI FORMATIF 1

1. Jelaskan Biokompatibilitas ?
2. Di mana dan mengapa biomaterial digunakan ?
3. Kriteria dikatakan biomaterial ?
4. Syarat utama dalam menggunakan materi yang akan digunakan masuk kedala tubuh ?
5. sebutkan beberapa material alam yang digunakan dalam dunia kesehatan ?

KUNCI JAWABAN

1. Biokompatibilitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan dimana bahan tersebut diletakkan atau ditanamkan, tidak membahayakan tubuh, dan non-toksik

2. tujuan biomaterial adalah untuk mengganti bagian tubuh yang hilang, dengan mereplikasi struktur yang tidak ada lagi, atau untuk meningkatkan fungsi. Pikirkan implan, seperti sendi pinggul, dan katup jantung, transplantasi kulit, cangkok pembuluh darah, dan stent. Biomaterial juga digunakan dalam konteks yang kurang intrusif, seperti pada lensa kontak dan perawatan luka.
3. Dikatakan biomaterial apabila memiliki kriteria yaitu memiliki beberapa kategori. Kategori perta toxic material, yaitu material yang akan ditolak oleh jaringan tubuh ketika material tersebut dipasang di dalam tubuh manusia dan berpengaruh buruk pada sekeliling jaringan tubuh. Kategori kedua adalah bionert material, material tidak beracun dan material yang tidak aktif secara biologis, menyebabkan sedikit atau tidak ada respon dari jaringan tubuh ketika material tersebut dipasangka dalam tubuh manusia. Kategori ketiga adalah *bioactive* material, yaitu material tidak beracun yang aktif secara biologis, material ini akan mendukung ikatan implan dengan jaringan sekeliling. Kategori ke empat adalah bioresorbable material, material ini tidak beracun dan tidak menggabungkan diri ke sekeliling jaringan dan larut sepenuhnya setelah beberapa periode waktu tertentu. Biomaterial juga harus memiliki sifat mekanik seperti kekerasan, tegangan Tarik dan tekan dan ketahanan terhadap retak/patah yang baik, sifat kimia yang baik seperti komposisi kimia, stoikiometri dan sidat kia lainnya untuk mendukung ikatan antara jaringan tubuh dengan implan.
4. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam menggunakan material ke dalam tubuh yaitu :

Simbol	: Mg
Nomor atam	: 12
Berat atom	: 24, 305
Klasifikasi	: Logam alkali tanah
Fase pada suhu kamar	: Padat
Kepadatan	: 1, 738 gram per cm potong dadu
Titik leleh	: 650°C, 1202°F
Titik didih	: 1091°C, 1994°F

Dalam kondisi standar magnesium merupakan logam ringan dengan warna putih keperakan. Bila terkena udara, magnesium akan memudarkan dan menjadi dilindungi oleh lapisan tipis oksida. Ketika magnesium bersentuhan dengan air, magnesium akan bereaksi dan menghasilkan gas hydrogen. Jika terendam air, anda kan melihat

gelembung gas mulai terbentuk. Magnesium bagi kesehatan – magnesium sangat dibutuhkan untuk kesehatan tubuh, karena kalsium digunakan untuk lebih dari 300 reaksi biokimia dalam tubuh. Magnesium adalah mineral urutan nomer 4 yang paling penting untuk kesehatan. Sekitar 50% dari total magnesium tubuh simpan didalam tulng kita. Bagian yang tersisa dari magnesium yang terutama ditemukan dalam sel-sel jaringan tubuh dan organ. Hanya 1% saja magnesium yang ada dalam darah, dan tubuh manusia akan selalu menjaga agar kadar darah konstan magnesium.

5. - Logam (Baja, Aluminium, Tembaga)
 - Polimer (Karet, Pelastik)
 - Material berdasarkan-bio (Kulit, Tulang, Kertas, Lumber/Kayu)
 - Komposit (Fiberglass, Concrete)

Lembar Kerja Praktek 1

Kegiatan Pembelajaran 2: Klasifikasi Biomaterial

KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa mengetahui Klasifikasi Biomaterial
2. Mahasiswa mampu mengetahui kelebihan dan kekurang Biomaterial

URAIAN MATERI

Klasifikasi Biomaterial

A. Biomaterial telah dikelompokkan menjadi 2 besar yang terdiri dari :

1. Biomaterial Sintetik

Biomaterial sintetik telah dikelompokkan menjadi 3 klasifikasi dasar: logam, keramik, polymer. Pengelompokan ini didasarkan pada susunan kimia dan struktur atom, dan kebanyakan material yang ada sekarang termasuk dalam salah satu kelompok diatas, namun ada juga material yang berada diantara kelompok diatas. Material tersebut adalah komposit.

- a. Logam

Sebagai bagian dari material, logam merupakan material yang sangat banyak digunakan untuk implantasi *load-bearing*. Misalnya, beberapa dari kebanyakan pembedahan ortopedi pada umumnya melibatkan implantasi dari material logam. Mulai dari hal sederhana seperti kawat dan sekrup untuk pelat yang bebas dari patah sampai pada *total joint prostheses* (tulang sendi buatan) untuk pangkal paha, lutut, bahu, pergelangan kaki dan banyak lagi. Dalam ortopedi, implantasi bahan logam digunakan pada pembedahan *maxillofacial*, *cardiovascular*, dan sebagai material dental. Walaupun banyak logam dan paduannya digunakan untuk aplikasi peralatan medis, tetapi yang paling sering digunakan adalah baja tahan karat, titanium murni dan titanium paduan, serta paduan *cobalt-base*.



Gambar 1.2. Logam

b. Polimer

Berbagai jenis polimer banyak digunakan untuk obat-obatan sebagai biomaterial. Aplikasinya mulai dari wajah, muka buatan sampai pada pipa tenggorokan, dari ginjal dan bagian hati sampai pada komponen-komponen dari jantung, serta material untuk gigi buatan sampai pada material untuk pangkal paha dan tulang sendi lutut. Material polimer untuk biomaterial ini juga digunakan untuk bahan perekat media dan penutup, serta pelapis yang digunakan untuk berbagai tujuan.

c. Keramik

Keramik juga sudah banyak digunakan sebagai material pengganti dalam dunia kesehatan. Hal ini meliputi material untuk mahkota gigi, tambalan dan gigi tiruan. Tetapi, kegunaannya dalam bidang lain dari pengobatan medis tidak terlihat begitu banyak bila dibandingkan dengan logam dan polimer. Hal ini dikarenakan ketangguhan retak yang buruk dari keramik yang akan sangat membatasi penggunaannya untuk aplikasi pemberian material keramik sedikit digunakan untuk penggantian tulang sendi (*join replacement*), perbaikan tulang (*bone repair*) dan penambahan tulang (*augmentation*).



Gambar 1.3. Keramik

d. Komposit

Biomaterial komposit yang sangat cocok dan baik digunakan di bidang kedokteran gigi adalah sebagai material pengganti atau tambalan gigi. Walaupun masih terdapat material komposit lain seperti komposit lain seperti komposit karbon-karbon dan komposit polimer berpenguat karbon yang dapat digunakan pada perbaikan tulang dan penggantian tulang sendi karena memiliki nilai modulus elastis yang rendah, tetapi material ini tidak menampakkan adanya kombinasi dari sifat mekanik dan biologis yang sesuai untuk aplikasinya. Tetapi juga, material komposit sangat banyak digunakan untuk *prosthetic limbs* (tungkai buatan), dimana terdapat kombinasi dari densitas/berat yang rendah dan kekuatan yang tinggi sehingga membuat material ini cocok untuk aplikasinya.

Contoh Soal 1.3:

Sebutkan kegunaan dari empat bagian yang ada di biokeramik sintetik ?

Jawaban :

Empat bagian yang ada di biomaterial :

- Logam digunakan untuk implasasi, misalnya beberapa dari kebanyakan pembedahan ortopedi pada umumnya yang melibatkan implantasi dari material logam.
- Polimer, digunakan untuk obat-obatan sebagai biomaterial. Aplikasinya mulai dari wajah, muka buatan sampai pada pipa tenggorokan, dari ginjal dan bagian hati sampai pada komponen-komponen dari jantung, serta material untuk gigi buatan sampai pada material untuk pangkal paha dan tulang sendi lutut.
- Keramik juga sudah banyak digunakan sebagai material pengganti dalam dunia kesehatan. Hal ini meliputi material untuk mahkota gigi, tambalan dan gigi tiruan. Tetapi, kegunaannya dalam bidang lain dari pengobatan medis tidak terlihat begitu banyak bila dibandingkan dengan logam dan polimer.
- Komposit, digunakan di bidang kedokteran gigi adalah sebagai material pengganti atau tambalan gigi.

Contoh Soal 1.4:

Jelaskan pengertian Implan ?

Jawaban :

Implan adalah suatu peralatan medis yang dibuat untuk menggantikan struktur dan fungsi suatu biologis. Permukaan implan yang kontak dengan tubuh bisa terbuat dari bahan biomaterial seperti titanium, silikon atau apatit ataupun bahan lainnya tergantung pada fungsinya.

2. Biomaterial Alam

Beberapa material yang diperoleh dari binatang atau tumbuhan ada pula yang penggunannya sebagai biomaterial yang layak digunakan secara luas. Keuntungan pada penggunaan material alam untuk implantasi adalah material ini hampir sama dengan material yang ada dalam tubuh. Menyikapi hal ini, maka terdapat bidang lain yang cukup berkembang dan baik untuk dipahami yaitu bidang *biomimetics*. Material alam biasanya tidak memberikan adanya bahanya racun yang sering dijumpai pada material sintetik. Dan juga, material ini dapat membawa protein spesifik yang terikat didalamnya dan sinyal biokimia lainnya yang mungkin dapat membantu penyembuhan, pemulihan dan integrase dari jaringan.

Selain itu, material alam dapat juga digunakan untuk mengatasi masalah *immunogenicity*. Masalah lain yang berkaitan dengan material ini adalah kecenderungannya untuk berubah sifat atau terdekomposisi pada temperature dibawah titik lelehnya. Contoh material alam adalah :

- a. Kolagen
- b. Chitin
- c. Keratin
- d. Selulosa

Salah satu contoh dari material alam adalah kolagen, yang hanya terdapat dalam bentuk serat, mempunyai struktur tripel-helix, dan merupakan protein yang sangat banyak terdapat pada binatang di seluruh dunia.

Sebagai contoh, hampir 50% protein pada kulit sapi adalah kolagen. Hal tersebut membentuk komponen yang signifikan dari jaringan penghubungan seperti

tulang, tendon, ligament dan kulit. Terdapat kurang lebih sepuluh jenis berbeda dari kolagen dalam tubuh, yaitu :

- a. Tipe I ditentukan terutama pada kulit, tulang dan tendon
- b. Tipe II ditemukan pada tulang rawan arteri pada tulang dan sendi
- c. Tipe III merupakan unsur utama dari pembuluh darah

Kolagen sudah banyak dipelajari untuk digunakan sebagai biomaterial, material implantasi ini biasanya dalam bentuk sponge yang tidak memiliki kekuatan mekanik atau kekuatan signifikan. Material ini sangat menjanjikan sebagai perancah untuk pertumbuhan jaringan baru, dan tersedia juga sebagai produk untuk menyembuhkan luka. *Injectable collagen* merupakan kolagen yang disuntik ke dalam tubuh dan sangat banyak digunakan untuk proses augmentasi atau pembangunan dari jaringan termal untuk bahan kosmetik. Material alam lain yang ditinjau masih dalam pertimbangan, termasuk kerang, kitin, (dari serangga dan binatang berkulit keras seperti udang, kepiting dll), keratin dari rambut dan selulosa dari tumbuhan.

Sifat-Sifat Biomaterial

A. Sifat Fisika dari Biomaterial

1. Abrasi dan Ketahanan Abrasi

Kekerasan, sering kali di gunakan sebagai suatu petunjuk dari kemampuan suatu bahan menahan abrasi atau pengikisan. Nama abrasi merupakan kemanisme kelompok pada lingkungan mulut yang mencangkup interaksi antara sejumlah faktor oleh karena itu peran kekerasan sebagai suatu prediktor ketahanan abrasi adalah terbatas.

Kekerana suatu bahan hanyalah satu dari banyak faktor yang mempengaruhi pengikisan atau abrasi permukaan email gigi yang berkontak dengan bahan. Faktor utama lain yang mempengaruhinya adalah tekanan gigitan, frekuensi pengunyah, sifat abrasive makanan, komposisi cairan dan ketidak teraturan permukaan gigi.

2. Kekentalan

Ketahanan untuk bergerak disebut kekentalan atau viskositas dan dikendalikan oleh gaya friksi internal di dalam cairan, kekentalan adalah ukuran konsisten suatu cairan beserta ketidak mampuannya untuk mengalir. Cairan dengan kekentalan tinggi

mengalir lambat karena viskositasnya yang tinggi. Bahan kedokteran gigi mempunyai kekentalan yang berbeda bila digunakan untuk penerapan klinis tertentu. Banyak bahan kedokteran gigi mempunyai banyak sifat pseudoplastik dimana kekentalannya berkurang dengan meningkat besarnya generasi sampai mencapai nilai yang hampir konstan. Kekentalan dari kebanyakan cairan juga meningkatkan kecepatan temperature. Kekentalan bergantung pada perubahan wujud sebelumnya dari cairan. Suatu cairan ini juga menjadi kurang kental dan lebih cair di bawah disebut trisotropik. Plaster, semen resin dan beberapa bahan cetak adalah tikotropik. Sifat ini menguntungkan karena membuat bahan tidak mengalir dari sendok cetak sampai diletakan pada jaringa mulut.

3. Relaksasi Tekanan

Proses pelepasan tekanan disebut dengan relaksasi. Kecepatan relaksasi meningkat dengan meningkatnya temperature. Ada beberapa bahan kedokteran gigi bukan kristal seperti malam, resi, dan gel yang ketika dimanipulasi didinginkan kemudian dapat mengalami relaksasi pada temperature yang meningkat.

4. Creep dan Aliran

Creep adalah geseran plastik yang bergantung waktu dari suatu bahan di bawah muatan statis. Aliran umumnya digunakan dalam kedokteran gigi untuk menggambarkan reologi dari bahan amorf seperti malam. Aliran dari malam adalah ukuran dari kemampuannya untuk berubah bentuk dibawah muatan statis yang kecil dan dihubungkan.

B. Sifat Termofisika dari Bahan Biomaterial

1. Konduktivitas Termal

Pengukuran termofisika mengenai seberapa baik panas di panas disalurkan melalui suatu bahan dengan aliran konduksi. Bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal tinggi tersebut konduktor dan bahan dengan konduktivitas lemah disebut isolator. Dibandingkan dengan komposit berbasis resin yang memiliki konduktivitas resin yang lemah bila air dingin berkонтак dengan restorasi logam panas disalurkan lebih cepat menjauhi gigi karena konduktivitas termanya lebih

- tinggi. Peningkatan konduktivitas dari logam dibandinkan dengan resin menyebabkan sensitivitas pulpa lebih besar
2. Difusi Termal

Pengendalian besarnya waktu perubahan temperature begitu panas melewati suatu bahan. Besarnya dapat diukur pada saat suatu benda dengan temperature yang tidak sama mencapai keadaan keseimbangan termal. karena keadaan penyaluran panas tidak stabil selama penyerapan makanan dan cairan panas atau dingin difusi termal bahan kedokteran gigi lebih penting dari konduktivitas termal
 3. Koefisien ekspansi termal

Sifat termal yang juga penting bagi dokter gigi ini adalah perubahan panjang per unit panjang asal dari suatu benda bila temperature dinaikkan

C. Sifat Mekanik Biomaterial

Menurut Kenneth (2004), sifat-sifat mekanik dari biomaterial dapat dibagi menjadi:

1. Kekuatan (*Strength*), Kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan ini tergantung pada jenis pembebannya, yaitu:
 - a. Kekuatan tarik akibat beban tarik
 - b. Kekuatan geser akibat beban geser
 - c. Kekuatan tekan akibat beban tekan
 - d. Kekuatan torsi akibat beban torsi
 - e. Kekuatan lengkung akibat beban banding
2. Kekerasan (*hardness*), Kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (*abrasi*), indentasi atau penetrasi.
3. Kekenyalan (*elastisitas*), Kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan.
4. Kekakuan (*stiffness*), Kemampuan bahan untuk menerima tegangan / beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi/defleksi).
5. Plastisitas (*plasticity*), Kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan
6. Ketangguhan (*toughness*), Kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

7. Kelelahan (*fatigue*), Kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima beban yang berulang/dinamik yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastiknya.
8. *Creep* (merangkak), Kecenderuangan suatu logam untuk mengalami deformasi plastik yang besarnya merupakan fungsi waktu.

Perilaku material seperti yang disebutkan diatas dapat terjadi sebagai akibat dari pembebanan statik dan akibat pembebanan dinamik. Pembebanan statik merupakan pembebanan yang tetap atau relatif konstan, sedangkan pembebanan dinamik merupakan pembebanan yang sifatnya bervariasi atau merupakan beban impak/kejut.

Kelebihan dan Kekurangan Biomaterial

a. Biomaterial Logam

Kelebihan	Kekurangan
Kuat, keras dan tangguh	Mudah korosif
Merupakan konduktor panas dan listrik yang baik	Mudah menyerap listrik
Bisa bersifat magnetik	Mudah beradu dengan benda lain
Mudah dicairkan / dipanaskan sehingga mudah dibentuk dan dicetak	Fraktur / patah dan mahal

b. Biomaterial Polimer

Kelebihan	Kekurangan
Kenyal dan elastis	Tidak kuat karena terlalu lunak
Lebih akurat dan percetakan	Memerlukan sendok cetak perorangan
Waktu penyimpanan bisa tahan lama	Berpotensi distorsi
Tidak mudah robek	Harus diisi dengan stone secepatnya
Mudah dibentuk dalam pencetakan	Kotor (lengket)
Murah	Aroma yang terkadang menyengat mengganggu kenyamanan pasien

c. Komposit

Kelebihan	Kekurangan
Kuat untuk tambalan	Mudah mengerut
Tidak berbahaya	Mudah rusak
Sewarna dengan gigi	Warna mudah berubah

d. Keramik

Kelebihan	Kekurangan
Biokompatibilitas baik	Mudah rapuh
Terlihat natural (hasilnya)	Mengeluarkan suara klicking saat gigi berontak
Daya tahan tinggi terhadap pemakaian dan distorsi	Tidak dapat dihaluskan dengan cepat setelah digrinding
Tahap terhadap serangan kimia	Terlalu lemah untuk pembuatan mahkota penuh tanpa inti
Mempunyai daya kompresif strength yang lebih tinggi	Tidak ada pengikat untuk dasar akrilik denture dan memerlukan alat tambahan
	Koefisien termal ekspansion tidak sebanding dan kekuatan terik rendah

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikan tentang klasifikasi biomaterial
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil tentang klasifikasi biomaterial dan kelebihan kekurangan dari biomaterial

RANGKUMAN

1. Klasifikasi Biomaterial secara umum terbagi menjadi 2 kelompok yaitu : Biomaterial Sintetik dan Biomaterial Alam.
2. Biomaterial sintetik terbagi menjadi empat menurut struktu kimia
 - a. Logam
 - b. Polimer
 - c. Keramik
 - d. Komposit
3. Biomaterial alam adalah material yang diperoleh dari binatang atau tumbuhan ada pula yang penggunannya sebagai biomaterial yang layak digunakan secara luas. Keuntungan pada penggunaan material alam untuk implantasi adalah material ini hampir sama dengan material yang ada dalam tubuh.
4. Ada empat contoh material alam :
 - a. Kolagen
 - b. Khitin

- c. Keratin
 - d. Selulosa
5. Sifat-Sifat Biomaterial terbagi menjadi tiga bagian :
- a. Sifat Fisik dari Biomaterial
 - b. Sifat termofisika dari bahan biomaterial
 - c. Sifat Mekanik Biomaterial

EVALUASI FORMATIF 2

1. *load bearing* adalah ?
2. Sebutkan kelebihan dan kekurang serta aplikasi dari masing-masing jenis material ?
3. Jelaskan tiksotropik !
4. Kriteria yang dikatakan biomaterial adalah ?
5. penggunaan biomaterial alam saat ini ?

KUNCI JAWABAN

1. *load bearing* adalah daya dukung beban
2. kelebihan dan kekurang serta aplikasi dari masing-masing jenis material

Material	Kelebihan	Kekeurangan	Contoh
Logam	Kuat, Tangguh, <i>ductile</i>	Dapat terkorosi, berat jenis besar, proses pembuatannya sulit	Tulang sendi, akar gigi buatan, pelat dan sekrup tulang.
Polimer	Kenyal, Mudah diproduksi	Tidak kuat, mudah terdeformasi, dapat terdegradasi	Benang bedah, pembuluh darah, sel-sel yang halus, sendi penggul
Keramik	Biokompatibilitas tinggi	Rapuh, tidak kenyal, tidak kuat ditekan	Gigi buatan dan tulang buatan
Komposit	Kuat, dapat disesuaikan bentuknya	Proses pembuatannya sulit	<i>Bone cement, dental resin</i>

3. tiksotropik adalah suatu padatan yang terlarut dalam cairan yang viskositasnya akan menurun seiring dengan lama gaya yang diberikan atau dengan kata lain semakin dikocok semakin encer.
4. Karakteristik biomaterial pada implan yaitu pada penggunaan komponen bone plane. Komponen bone plate adalah salah satu alat media yang dibuat untuk menggantikan struktur dan fungsi suatu biologis. Dipasaran komponen bone plate mempunyai harga yang variatif tergantung materialnya, karakterisasi material bone plate telah dilakukan menggunakan beberapa pengujian yaitu pengujian komposisi kimia, metalografi, pengujian kekerasan dan pengujian korosi. Hasil pengujian komposisi kimia pada komponen bone plate A dan bone plate B menunjukkan material klasifikasi jenis baja tahan karat Austenitik. Bone plate A baja tahan karat Austenitik 316L dengan kandungan molybdenum 1,94 persen, dan kromium 20,48 persen, sedangkan bone plate B baja tahan karat Austetik 304L kandungan molybdenum 0,149 persen dan kromium 20,08 persen.
5. Material impantasi ini biasanya dalam bentuk sponge yang tidak memiliki kekuatan mekanik atau kekuatan yang signifikan. Material ini sangat menjanjikan sebagai perancah untuk pertumbuhan jaringan-baru (*neotissue growth*) dan tersedia juga sebagai produk untuk menyembuh luka. *Injectable collagen* (kolagen yang disuntikan atau dimasukkan ke dalam tubuh) sangat banyak digunakan untuk proses *augmentasi* (penambahan) atau pembangunan dari jaringan dermal (*dermal tissue*) untuk bahan kosmetik. Material alam lain yang ditinjau masih dalam tahap pertimbangan, termasuk karang, chitin (dari serangga dan binatang berkulit keras seperti udang, kepiting dan lain-lain), ketratin (dari rambut) dan selulosa (dari tumbuhan)

Lembar Kerja Praktek 2

Kegiatan Pembelajaran 3: Pengaplikasian dan Pengujian Biomaterial

KEMAMPUAN YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa mampu mengetahui pengujian Biomaterial
2. Mahasiswa mampu mengaplikasiakan Biomaterial dalam kehidupannya sehari-hari

URAIAN MATERI

Pengaplikasian Biomaterial

Secara garis besar material kedokteran gigi dapat diklasifikasi sesuai dengan penggunaannya, yaitu :

A. Material untuk Prosedur Klinik

1. Bahan Cetak (*impression material*)

Material cetak atau *impression material* merupakan material yang digunakan untuk mengambil cetakan dari rahang/jaringan mulut beserta gigi-giginya. *Alginate* adalah polimer linie organik polisakarida yang terdiri dari monomer α -L asam guluronat (G) dan β -D asam manuronat (M), atau dapat berupa kombinasi dari kedua monomer tersebut. *Alginate* dapat diperoleh dari ganggang coklat yang berasal dari genus *Ascophyllum*, *Ecklonia*, *Durvillaea*, *Laminaria*, *Lessonia*, *macrocystis*, *Sargassum*, dan *Turbinaria*.

2. Bahan Tumpatan (*Filling Material*)

Ada beberapa macam tumpatan gigi yaitu :

- a. Amalgan

Bahan tumpat ini sudah lama dikenal dan terdiri dari campuran amalgan alloy dan merkuri, mempunyai warna seperti logam.

- b. *Composite* dan *Glass ionomer*

Bahan tumpat ini mempunyai beberapa macam warna yang serupa dengan warna gigi. Baik sekali untuk kosmetik terutama untuk gigi bagian depan.

- c. Bahan Semen Dental (*Dental Cement*)

Bahan tumpat ini terbuat dari logam (emas atau bukan emas), porselen. Kedua macam tumpatan ini mempunyai daya tahan kunyah yang baik sekali dan

digunakan untuk gigi belakang. Cara pembuatannya lebih rumit, harus dilakukan di luar mulut. Kemudia dicetakan dengan semen pada gigi yang bersangkutan.

3. Bahan Semen Dental

Salah satu bahan semen dental adalah : semen ionomer kaca yang merupakan salah satu bahan restorsi yang banyak digunakan oleh dokter gigi karena mempunyai beberapa keunggulan, yaitu preparasinya dapat minimal, ikatan dengan karingan gigi secara klinik, melepas fluor dalam jangka panjang, estetis, biokompatibel, daya larut rendah, translusen, dan bersifat anti bakteri.

Contoh Soal 1.5 :

Sebutkan 3 bahan material yang digunakan dalam kedokteran gigi ?

Jawaban :

- Bahan cetak
- Bahan tumpatan
- Bahan semen dental

B. Materi untuk Prosedur Laboratorium

1. Gips Dental (*Dental Gips*)

Bahan cetak gips sudah lama digunakan di bidang kedokteran gigi. Tersedia dalam bentuk bubuk yang harus dicampurkan dengan air

Sebelum mengeras adonan yang dihasilkan mempunyai daya alir (*flow*) yang tinggi. Sifat ini memungkinkan bahan cetak dapat mengalir ke tempat-tempat yang sempit sehingga hasil cetak cukup akurat.

a. *Plaster of paris gipssun*

Digunakan untuk mengisi cetakan serta berperan untuk mengatur waktu pengerasan dan ekspansi pengerasana, umumnya berwarna putih alami.

b. *Stone Gips*

Untuk pembuatan *die stones* atau pola malam *cast restoration*, persyaratan utama bagi bahan *stone* untuk pembuatan *die* adalah kekuatan, kekerasan, dan ekspansi pengerasan minimal.

c. *Investment Material*

Merupakan gipsun hemihidrat yang secara umum merupakan pengikat untuk bahan pendam yang digunakan pada pengecoran logam.

2. Bahan Tanam Tuang (*Investment Material*)

Adalah bahan tanam yang digunakan untuk mengecor-logam cair dengan gaya sentrifugal atau tekanan ke dalam kavitas mold yang dibuat dari model malam yang diberi spure.

3. Malam Dental (*Dental Wax*)

Wax atau malam adalah suatu campuran dari beberapa macam bahan organik dengan berat molekul dan kekuatan rendah serta mempunyai sifat *thermoplastic*. Pertama kali digunakan dibidang KG sekitar abad 18 untuk pencatatan cetakan rahang tak bergigi. Konstitusi dasar malam yang dipergunakan di dalam kedokteran gigi berasal dari tiga sumber utama yaitu :

- a. Mineral seperti *paraffin*
- b. Serangga, seperti malam *beeswax*
- c. Tumbuhan seperti malam *ceresin* dan *carnauba*

4. Resin Dental (*Resin Acrilyc*)

Resin akrilik adalah jenis resin termoplastik, dimana merupakan senyawa komponen non metalik yang dibuat secara sintesis dari bahan-bahan organik. *Resin akrilik* dapat dibentuk selama masih dalam keadaan plastis, dan mengeras apabila dipanaskan. Pengerasan terjadi oleh karena terjadinya reaksi polimerisasi adisi antara polimer dan monomer.

Acrylic berasal dari asam *acrolain* atau *gliserin aldehid*. Secara kimia dinamakan *polymethyl methacrylate* yang terbuat dari minyak bumi, gas bumi atau arang batu. Bahan ini disediakan dalam kedokteran gigi berupa cairan (monomer) mono *methyl methacrylate* dan dalam bentuk bubuk (*polymer*) *polymethyl methacrylate*.

5. Porselen Dental (*Dental Porcelain*)

Porselen dental adalah feldspar hasil vitrifikasi dengan pigmen oksida logam untuk meniru enamel gigi.

6. Logam Dental (*Dental Alloy*)

Logam *alloy* adalah campuran dua atau lebih elemen logam. Jenis *alloy* yang digunakan dalam kedokteran gigi adalah :

- a. *Dental Amalgam*
- b. *Alloy* emas

- c. *Stainless steel*
 - d. *Alloy Cobalt Chromium dan Alloy Sillver palladiu*
7. Bahan Pengalus dan Pemoleh (*finishing* dan *polishing material*)

Polishing merupakan rangkaian prosedur yang berfungsi untuk mengurangi atau menghilangkan goresan-goresan yang terjadi dari proses pekerjaan sebelumnya. Pekerjaan ini dilakukan sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan permukaan restoratif yang mengkilat.

Finishing merupakan suatu proses yang menghasilkan bentuk akhir dan kontur dari restorasi. Bahan-bahan abrasi yang di gunakan dalam proses penghalusan dan pemolesan adalah :

- a. Kapur

Merupakan salah satu bentuk mineral dari *calcite*. Kapur adalah abrasive putih yang terdiri atas kalsium karbonat, digunakan sebagai pasta abrasive ringan untuk memoles email gigi, lembaran emas, amalgam dan bahan plastis.

- b. Pumice

Merupakan bahan silika yang berwarna abu-abu muda. Digunakan terutama dalam bentuk pasir tetapi juga dapat ditentukan pada abrasive karet. Kedua bentuk ini digunakan pada bahan plastik. *Pumice* digunakan untuk memoles email gigi, lempeng emas, amalgam, resin akrilik.

- c. Pasir

Campurkan partikel mineral kecil yang terutama terdiri atas silika. Diaplikasikan dengan tekanan udara untuk menghilangkan bahan tanam dari logam campur pengecoran. Juga dapat dilapiskan pada *disk* kertas untuk mengasah logam campur dan bahan pelastik.

- d. Cuttle

Merupakan bubuk putih *calcareus* yang digunakan untuk prosedur abrasi yang halus seperti memoles tepi logam dan restorasi amalgam gigi.

- e. Aluminium oxide

Adalah abrasive sintetik kedua yang dikembangkan setelah silikin karbid. *Aluminium oxide* berupa bubuk berwarna putih, dapat lebih keras daripada korundum (alumina alami) karena kemurniannya. *Aluminium oxide* banyak digunakan untuk merapikan email gigi, logam campur, maupun bahan keramik.

Pengujian Untuk Evaluasi Biokompabilitas

Tujuan uji biokompatibilitas adalah untuk menghilangkan produk atau komponen produk potensi yang dapat merugikan atau merusak jaringan mulut atau maksilofasial. Uji biokompatibilitas dikelompokkan menjadi 3 tingkatan (baris), dengan yang paling cepat dan ekonomi dimasukkan dalam tingkat primer. Sebuah produk dengan sifat-sifat yang menjanjikan dikenai uji sekunder yang lebih mahal dan akhir uji (penggunaan) pra-klinis yang mahal pada binatang ataupun manusia. Jumlah pengujian dan penggunaan hewan pencobaan telah berkurang besar-besaran sejak tahun 1972.

A. Kelompok I : Uji Primer. Uji primer terdiri atas evaluasi sitotoksik dimana bahan kedokteran dalam keadaan segar atau tanpa diproses ditetapkan langsung sel jaringan atau membrane (penghalang seperti lempeng dentil) yang menutupi sel jaringan yang bereaksi terhadap efek dari produk atau komponen yang merembes melalui penghalang. Banyak produk yang awalnya dianggap bersifat sangat sitotoksik dapat dimodifikasi atau peggunaannya dapat dikendalikan oleh pabrik pembuatan untuk mencegah efek sitotoksik tersebut.

Uji Genotoksik

Sel mamalia atau sel non-mamalias, bakteri, ragi atau jamur digunakan untuk menentukan apakah mutase gen, perubahan dalam struktur kromosom atau perubahan asam deoksiribonuleat lain, atau perubahan genetik disebabkan oleh bahan, alat, dan ekstrak dari bahan yang diujikan

B. Kelompok II : Uji Sekunder. Pada tingkat ini, produk dievaluasi terhadap potensinya untuk menciptakan toksitas sistemik, toksitas inhalasi, iritasi kulit dan sensitivitas serta respons implantasi. Dalam uji toksitas sistemik seperti uji dosis letal rata-rata untuk rongga mulut, sampel bahan yang diujikan diberikan setiap hari pada tikus selama 14 hari baik secara oral maupun dimasukkan dalam makananya. Bila 50% tikus-tikus tersebut hisup, produk tersebut lolos uji. Usaha untuk mengembangkan uji toksitas sistemik yang memerlukan lebih sedikit binatang sedang dikembangkan.

Uji Implantasi

Penggunaan teknik implan secara ini juga mempertimbangkan sifat fisik produk, seperti bentuk, kepadatan, kekerasan dan kehalusan permukaan yang dapat mempengaruhi karakter respons jaringan.

C. Kelompok III : Uji Penggunaan Pra-klinis. Suatu produk disetujui oleh *US Food and Administration* (FDA) setelah berhasil melalui uji primer dan sekunder berdasarkan bahwa produk tersebut tidak membahayakan manusia. Berkaitan dengan obat-obatan, FDA amat memperhatikan bahwa uji tersebut digunakan dengan efisien, teliti dan cermat. Namun, berkaitan dengan bahan-bahan gigi, pabrik pembuat memiliki kesempatan sampai 7 tahun untuk membuktikan efisiensinya setelah produk tersebut dipasarkan dengan persetujuan FDA.

Contoh Soal 1.6 :

Apa tujuan uji biokompatibilitas ?

Jawaban :

Uji biokompatibilitas adalah untuk menghilangkan produk atau komponen produk potensial yang dapat merugikan atau merusak jaringan mulut atau maksilofasial.

Contoh Soal 1.7 :

Sebutkan dua kelompok uji Biokompatibilitas ?

Jawaban :

- Kelompok I: Uji Primer. Uji primer terdiri atas evaluasi sitotoksik dimana bahan kedokteran gigi dalam keadaan segar atau tanpa diproses ditempatkan langsung pada biakan sel jaringan atau membran (penghalang seperti lempeng dentin) yang menutupi sel jaringan biakan yang bereaksi terhadap efek dari produk atau komponen yang merembes melalui penghalang.
- Kelompok II: Uji Sekunder. Pada tingkat ini, produk dievaluasi terhadap potensinya untuk menciptakan toksisitas sistemik, toksisitas inhalasi, iritasi kulit, dan sensitivitas serta respons implantasi.

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikanlah tentang pengaplikasian biomaterial
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil tentang contoh pengamplikasian biomaterial dalam dunia kesehatan

RANGKUMAN

1. Secara garis bedar material kedokteran gigi dapat diklasifikasi sesuai dengan penggunaannya, yaitu :
 - a. Material untuk Prosedur Klinik
 - b. Material untuk Prosedur Laboratorium
2. Material untuk prosedur klinik terdapat 3 bagian :
 - a. Bahan Cetak (*impression material*)
 - b. Bahan Tumpatan (*filling material*)
 - c. Bahan Semen Dental (*dental cement*)
3. Material untuk prosedur laboratorium terbagi 7 bagian yaitu :
 - a. Gips Dental (*dental gypsum*)
 - b. Bahan Tanam Tuang (*investment material*)
 - c. Malam Dental (*dental wax*)
 - d. Resin Dental (*resin acrilyc*)
 - e. Porselen Dental (*dental porcelain*)
 - f. Logam Dental (*dental alloy*)
 - g. Bahan Penghalus dan Pemoles (*finishing dan polishing material*)
4. Pengujian untuk Evaluasi Biokompatibilitas terbagi 3 kelompok yaitu :
 - a. Kelompok I : Uji Primer
 - b. Kelompok II : Uji sekunder
 - c. Kelompok II : Uji penggunaan Pra-klinis

EVALUASI FORMATIF 3

1. Jelaskan Polisakarida ?
2. Finishing adalah ?
3. Sebutkan dan jelaskan bahan-bahan abrasi yang digunakan dalam proses penghalusan dan pemolesan ?
4. Jelaskan uji genotoksik dan uji dan uji implantasi ?
5. Pada tahun berapa jumlah pengujian dan penggunaan hewan pencobaan telah berkurang ?

Kunci Jawaban

1. Polisakarida adalah polimer yang tersusun dari ratusan hingga ribuan satuan monosakarida yang dihubungkan dengan ikatan glikosidik. Beberapa polisakarida kompleks dapat juga memiliki atom tambahan misalnya nitrogen, seperti pektin, kitin, dan lignin.
2. Finishing adalah merupakan suatu proses yang menghasilkan bentuk akhir dan kontur dari restorasi.
3. a. Kapur : Kapur adalah abrasif putih yang terdiri atas kalsium karbonat, digunakan sebagai pasta abrasif ringan untuk memoles email gigi, lembaran emas, amalgam, dan bahan plastis.
b. Pumice : Pumice digunakan untuk memoles email gigi, lempeng emas, amalgam, resin akrilik.
c. Pasir : diaplikasikan dengan tekanan udara untuk menghilangkan bahan tanam dari logam campur pengecoran
d. Cuttle : Merupakan bubuk putih calcareus yang digunakan untuk prosedur abrasi yang halus seperti memoles tepi logam dan restorasi amalgam gigi.
e. *Aluminium oxide* : digunakan untuk merapikan email gigi, logam campur, maupun bahan keramik
4. ***Uji Genotoksik.*** Sel mamalia atau sel non-mamalia, bakteri, ragi atau jamur digunakan untuk menentukan apakah mutasi gen, perubahan dalam struktur kromosom atau perubahan asam deoksiribonukleat lain, atau perubahan genetik disebabkan oleh bahan, alat, dan ekstrak dari bahan yang diujikan

Uji Implantasi. Penggunaan teknik implan secara in vivo juga mempertimbangkan sifat fisik produk, seperti bentuk, kepadatan, kekerasan dan kehalusan permukaan yang dapat mempengaruhi karakter respons jaringan

5. Sejak tahun 1972.

Lembar Kerja Praktek 3

RANGKUMAN MODUL

1. Definisi biomaterial secara umum adalah suatu material tak-hidup yang digunakan sebagai perangkat media dan mampun berinteraksi dengan sistem biologis. Adanya interaksi ini mengharuskan setiap biomaterial memiliki sifat biokompatibilitas, yaitu kemampuan suatu material untuk bekerja selaras dengan tubuh tanpa menimbulkan efek lain yang berbahaya
2. Biomaterial berurusan dengan sifat kimia dan fisika dari material dan kecocokannya untuk perangkat khusus.
3. Biomaterial adalah ilmu yang mempelajari tentang struktur, komposisi, sifat dan manipulasi material kedokteran gigi yang berkontak dengan jaringan keras / lunak tubuh manusia. Berinteraksi dengan sistem biologis untuk mengembalikan fungsi dan estetik di dalam suatu sistem stomagenik di dalamnya juga diuraikan mengenai perkembangan material, cara memilih dan mengevaluasi serta pemakaian material di bidang kedokteran.
4. Fungsi Biomaterial :
 - a. Sebagai pengganti bagian yang rusak,
 - b. Berperan dalam proses penyembuhan,
 - c. Memperbaiki fungsi tubuh,
 - d. Membantu diagnosa dan perawatan,
 - e. Memperbaiki kualitas hidup sehingga menciptakan taraf kesehatan yang lebih baik,
 - f. Menyelamatkan jiwa banyak orang
5. Klasifikasi Biomaterial secara umum terbagi menjadi 2 kelompok yaitu : Biomaterial Sintetik dan Biomaterial Alam.
6. Biomaterial sintetik terbagi menjadi empat menurut struktur kimia
 - a. Logam
 - b. Polimer
 - c. Keramik
 - d. Komposit
7. Biomaterial alam adalah material yang diperoleh dari binatang atau tumbuhan ada pula yang penggunannya sebagai biomaterial yang layak digunakan secara luas.

Keuntungan pada penggunaan material alam untuk implantasi adalah material ini hampir sama dengan material yang ada dalam tubuh.

8. Ada empat contoh material alam :

- a. Kolagen
- b. Khitin
- c. Keratin
- d. Selulosa

9. Sifat-Sifat Biomaterial terbagi menjadi tiga bagian :

- a. Sifat Fisik dari Biomaterial
- b. Sifat termofisika dari bahan biomaterial
- c. Sifat Mekanik Biomaterial

10. Secara garis besar material kedokteran gigi dapat diklasifikasi sesuai dengan penggunaannya, yaitu :

- a. Material untuk Prosedur Klinik
- b. Material untuk Prosedur Laboratorium

11. Material untuk prosedur klinik terdapat 3 bagian :

- a. Bahan Cetak (*impression material*)
- b. Bahan Tumpatan (*filling material*)
- c. Bahan Semen Dental (*dental cement*)

12. Material untuk prosedur laboratorium terbagi 7 bagian yaitu :

- a. Gips Dental (*dental gypsum*)
- b. Bahan Tanam Tuang (*investment material*)
- c. Malam Dental (*dental wax*)
- d. Resin Dental (*resin acrilyc*)
- e. Porselen Dental (*dental porcelain*)
- f. Logam Dental (*dental alloy*)

13. Bahan Penghalus dan Pemoles (*finishing dan polishing material*)

- a. Pengujian untuk Evaluasi Biokompatibilitas terbagi 3 kelompok yaitu :
- b. Kelompok I : Uji Primer
- c. Kelompok II : Uji sekunder
- d. Kelompok II : Uji penggunaan Pra-klinis

Pengenalan pada biomaterial



Hendra Hermawan, PhD
Associate Professor
Laval University, Canada
www.gmn.ulaval.ca

1. Pengantar

Indonesia adalah pasar alat kesehatan (alkes) yang tumbuh pesat dengan laju pertumbuhan tahunan sebesar 14,6% sampai tahun 2019 [1]. Namun, menurut survei Kemenkes, hanya 6% dari alkes yang beredar adalah produk lokal. Angka yang rendah dibanding dengan Malaysia (10%), Vietnam (13%) dan Thailand (33%), sekaligus menunjukkan ketergantungan Indonesia yang tinggi akan impor [2]. Indonesia tidak kekurangan pakar dalam bidang alkes dan proses produksinya, mereka tersebar di banyak universitas, lembaga riset dan institusi pemerintah [3]. Salah satu hambatan utama untuk produksi lokal adalah Pemerintah sendiri yang menetapkan 15% pajak atas impor bahan baku, sementara memberlakukan *tax holiday* untuk impor produk kesehatan jadi.

Namun, dalam Rencana Pembangunan Nasional 2015-2019, Pemerintah menempatkan pelayanan kesehatan sebagai program strategis. Pemerintah memiliki visi yang kuat menuju kemandirian atas produk kesehatan berkualitas berbasis riset. Sejak 2014, Pemerintah telah memfasilitasi investasi di sektor ini, memberi insentif dan prioritas kepada industri lokal, dan memperketat regulasi impor. Kemenristekdikti telah meluncurkan skema hibah multi tahun untuk penelitian biomaterial dan alkes dengan kandungan lokal tinggi dan melibatkan industri lokal. Kemenkes pun telah meluncurkan peta jalan pengembangan alkes lokal yang terbagi dalam tiga tahap: 1) optimalisasi industri alkes lokal yang bermuatan teknologi rendah dan menengah (2014-2016); 2) pengembangan alkes bermuatan teknologi tinggi berbasis riset (2017-2019); 3) pencapaian kemandirian nasional akan alkes bermuatan teknologi tinggi berbasis riset (2020-2022) [4]. Bahan atau material untuk membuat alkes disebut biomaterial. Artikel ini bertujuan memberikan pengenalan kepada biomaterial terutama logam sebagai material yang paling banyak dipakai untuk membuat alkes.

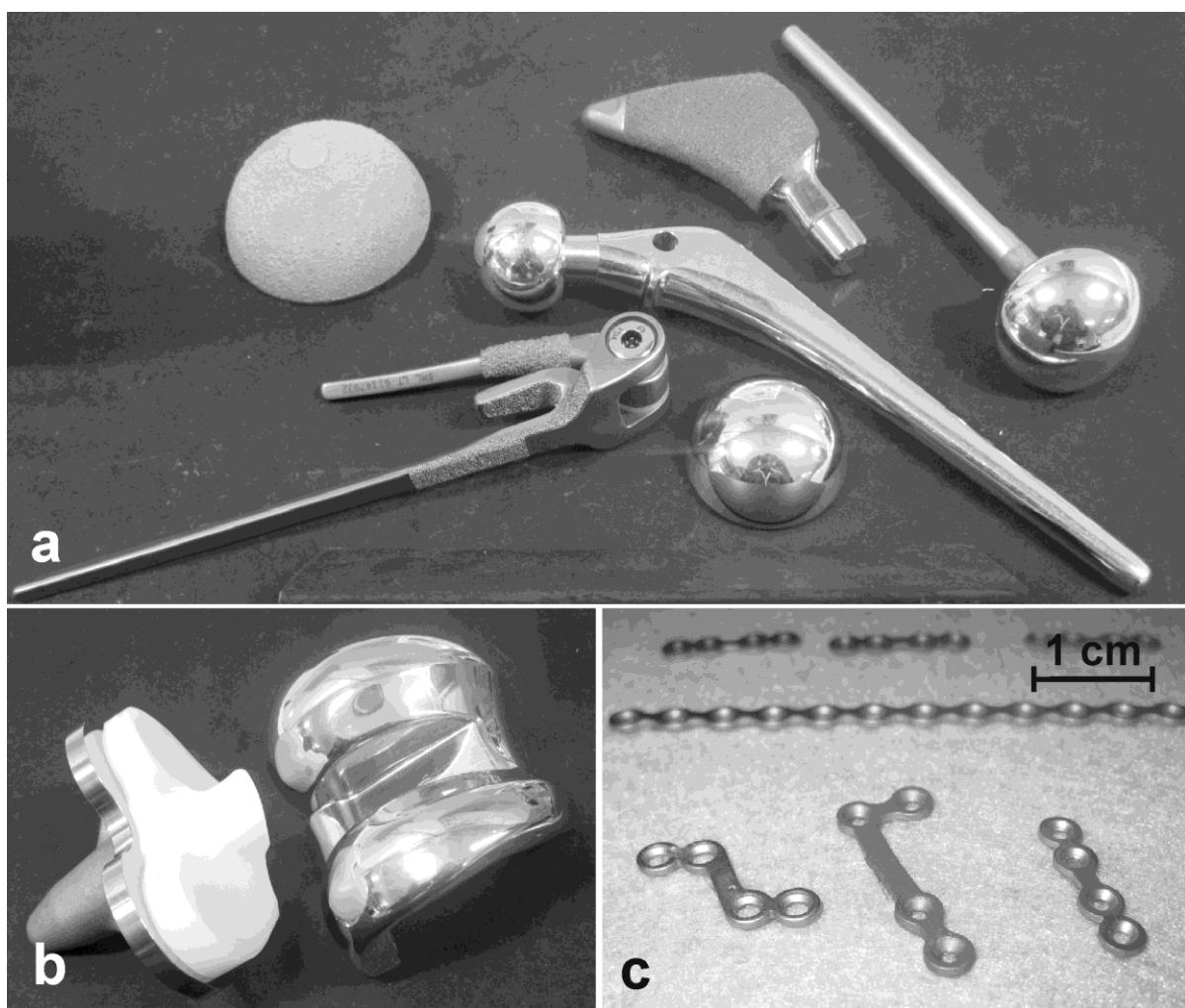
Biomaterial dapat didefinisikan sebagai material sintetik untuk membuat alkes dan dalam pemakaiannya berinteraksi dengan sistem biologi [5]. Biomaterial dipakai untuk membuat implan dan devais (surgical implants and devices) yang menggantikan bagian atau fungsi organ tubuh secara aman dan ekonomis [6]. Biomaterial melingkupi semua jenis material mulai dari logam, keramik, polimer hingga komposit. **Tabel 1** mengikhtisarkan material yang umum dipakai sebagai biomaterial.

Table 1 Jenis biomaterial dan aplikasinya

Material	Keunggulan	Kelemahan	Aplikasi
Logam: stainless steel, paduan titanium, paduan kobalt-krom, dsb.	Kuat, tangguh, ulet	Non bioaktif	Implan ortopedik, implan gigi, sendi buatan, ring jantung (stent), dsb.
Keramik: zirconia, alumina, bioglass, hidroksiapatit, dsb.	Bioaktif, inert,	Getas	Implan ortopedik dan gigi
Polimer: nilon, polilaktid, polietilen, polyester, dsb.	Bioaktif, elastis	Kurang kuat	Graft pembuluh darah, benang jahit, soket sendi buatan, dsb.
Komposit: amalgam, semen tulang diperkuat fiber, dsb.	Dibuat khusus	Relatif sukar dibuat	Semen tulang, resin gigi, dsb.

2. Implan Logam

Logam untuk alkes telah mengalami perkembangan pesat semenjak penemuan baja tahan karat (stainless steel) di tahun 1920an. Pembentukan komite F04 dari ASTM (American Society for Testing and Materials) di tahun 1962 telah berperan penting dalam standarisasi yang semakin mendorong penggunaan logam sebagai biomaterial. Logam digunakan sebagai implan untuk intervensi trauma, penyakit atau malfungsi organ tubuh dimana pembebasan mekanik hadir. Dalam perkembangan awalnya, kekuatan mekanik yang rendah dan korosi adalah dua masalah utama yang dihadapi implan logam [7]. Masalah korosi terselesaikan dengan penemuan baja tahan karat 18Cr-8Ni dan karenanya mendorong perkembangan dan pemakaian klinis implan logam. Sekarang, ratusan jenis logam telah dipakai untuk implan. Secara umum, mereka dapat dikelompokkan kedalam: 1) paduan stainless steel; 2) paduan Co-Cr; 3) Ti dan paduannya; dan 4) logam mulia. **Gambar 1** menunjukkan beberapa contoh implan berbahan logam.



Gambar 1 Contoh implan logam: **(a)** implan panggul, bahu dan siku, **(b)** implan lutut, **(c)** pelat tengkorak (MediTeg, Universiti Teknologi Malaysia).

Logam dipilih karena dua pertimbangan kunci: fungsi struktural dan ke-inert-an (tidak bereaksi dengan lingkungan). Namun dalam perkembangan terkini, implan diharapkan untuk memiliki bioaktivitas atau biofungsionalitas seperti kompatibel dengan darah (hemokompatibel) dan

kondusif dengan tulang, sehingga diperlukan modifikasi permukaan. Contohnya logam dilapis dengan hidroksiapatit untuk menjadikannya kodusif dengan tulang [8], atau dengan teflon untuk meningkatkan hemokompatibilitas [9]. Perkembangan terbaru biomaterial logam diantaranya logam-logam dengan elemen paduan non-toksik dan bebas alergi [10], dan logam biodegradable berbasis magnesium (Mg) untuk implan dengan fungsi temporer [11].

3. Karakteristik Implan Logam

Implan logam akan terpapar pada kondisi yang dituliskan dalam **Tabel 2**. Sebagai biomaterial, logam digunakan untuk bersentuhan dengan jaringan hidup dalam tubuh sehingga harus bersifat biokompatibel. Sifat penting lainnya termasuk sifat mekanik dan fisik yang baik, seperti kekuatan tarik, kekakuan, ketahanan lelah, dan rapat massa.

Tabel 2 Kondisi lingkungan tubuh dimana implan logam terpapar

Parameter	Nilai	Akibat
Suhu tubuh	37°C	Reaksi kimia berjalan lebih cepat dibandingkan pada suhu ruangan
pH [12]:		Meskipun cairah tubuh merupakan cairan tersangga (buffered solution), pH terkadang dapat turun ke ~5,2 di sekitar implan [13].
• Darah	7,15 – 7,35	
• Cairan antar sel	7,0	
• Sel	6,8	
Oksigen terlarut [14]:		Lingkungan korosif
• Darah arteri	100 mmHg	
• Darah vena	40 mmHg	
• Matriks antar sel	2 ~ 40 mmHg	
Ion klorida [12]:		Lingkungan korosif
• Serum	113 mEq/l	
• Cairan intertisi	117 mEq/l	
Beban mekanik [15]:		Dapat menyebabkan patah dan korosi tegangan (stress corrosion cracking)
• Tulang kancelus	0 – 4 MPa	
• Tulang kortikal	0 ~ 40 MPa	
• Dinding arteri	0,2 – 1 MPa	
• Miokardium	0 – 0,02 MPa	
• Otot (max)	40 MPa	
• Tendon (max)	400 MPa	
Beban dinamik [15]:		Dapat menyebabkan patah lelah dan keausan
• Kontraksi miokardium	5 x 10 ⁶ – 4 x 10 ⁷ /tahun	
• Pergerakan sendi jari	10 ⁵ – 10 ⁶ /tahun	
• Ambulasi	2 x 10 ⁶ /tahun	

Implan logam juga diharuskan untuk bersifat non-magnetik dan memiliki rapat masa tinggi agar kompatibel dengan teknik pencitraan resonansi magnetik (MRI) serta nampak dibawah pencitraan X-ray. Kebanyakan implan terpapar pada kondisi beban mekanik baik statik maupun dinamik yang mengharuskan adanya kombinasi kekuatan dan keuletan yang optimal. Inilah yang menjadikan logam lebih superior dibandingkan polimer dan keramik.

Karakteristik implan logam menjadi spesifik untuk aplikasi yang juga spesifik. Misalnya, *stent* dan *stent graft* diimplan untuk membuka penyempitan pembuluh darah menggunakan bantuan kateter, sehingga diperlukan keuletan untuk ekspansi juga kekakuan untuk menjaga pembukaan. Dalam aplikasi ortopedik, umumnya logam diharuskan memiliki ketangguhan, elastisitas, kekakuan, kekuatan dan ketahanan patah yang tinggi. Khusus untuk implan pengganti sendi, diperlukan juga ketahanan aus untuk mencegah pembentukan serpihan dari gesekan. Dalam restorasi gigi diperlukan logam yang kuat dan kaku, bahkan yang memiliki sifat ingat bentuk (shape memory effect) untuk hasil klinis yang lebih baik.

4. Biomaterial Logam

Pemilihan logam untuk implan sangat tergantung pada spesifikasi aplikasinya. *Stainless steel* tipe 316L (SS316L) masih menjadi logam yang paling banyak dipakai untuk berbagai jenis implan dari ortopedik sampai kedokteran gigi. Namun, ketika sebuah implan memerlukan ketahanan aus yang tinggi seperti sendi buatan, maka paduan Co-Cr adalah pilihan yang lebih bijak. **Tabel 3** menampilkan jenis logam yang dipakai untuk implan di berbagai divisi klinik.

Tabel 3 Implan dan jenis logam yang dipakai

Divisi	Implan	Jenis logam
Ortopedik	<ul style="list-style-type: none">• Fiksasi tulang (pelat, skrup, pin)• Fiksasi tulang belakang• Sendi buatan	SS316L; Ti; Ti-6Al-4V SS316L; Ti; Ti-6Al-4V; Ti-6Al-7Nb Co-Cr-Mo; T-6Al-4V; Ti-6Al-7Nb
Kraniofasial	Pelat dan skrup	SS316L; Co-Cr-Mo; Ti; Ti-6Al-4V
Kardiovaskuler	<ul style="list-style-type: none">• Katup buatan• Ring (stent)• Pembungkus pacu jantung• Stent graft	Ti-6Al-4V SS316L; Co-Cr-Mo; Ti Ti; Ti-6Al-4V SS316L
Otorinolaringologi	<ul style="list-style-type: none">• Gendang telinga buatan• Elektroda telinga dalam	SS316L Pt
Gigi	<ul style="list-style-type: none">• Tambal gigi• Inlay, crown, bridge• Kawat ortodontik• Implan gigi	Ag-Sn(-Cu) amalgam, Au Au-Cu-Ag; Au-Cu-Ag-Pt-Pd; Ti; Co-Cr SS316L; Co-Cr-Mo; Ti-Ni; Ti-Mo Ti; Ti-6Al-4V; Ti-6Al-7Nb; Au

Komposisi kimia adalah salah satu karakteristik dasar dari logam yang menentukan pembentukan mikrostruktur, fasa metallurgi dan sifat mekaniknya. Misalnya penambahan aluminium (Al) dan vanadium (V) kedalam Ti murni mampu meningkatkan kekuatan tariknya secara drastis. Kondisi metallurgi dari logam juga mengubah sifat mekaniknya, contohnya dalam kondisi anil logam memiliki keuletan yang lebih baik dibanding dalam kondisi penggerjaan dingin. Proses pembuatan logam juga mempengaruhi sifat mekaniknya, contohnya implan logam cor memiliki kekuatan yang lebih rendah dibanding logam tempa.

4.1. Stainless steel

Jenis stainless steel yang pertama dipakai untuk implan mengandung ~18% Cr dan ~8% Ni yang membuatnya tahan korosi dan lebih kuat dari baja karbon. Penambahan molibdenum (Mo) meningkatkan lebih lanjut ketahanan korosinya terhadap larutan yang mengandung ion klorida (Cl^-), dinamai tipe 316. Selanjutnya, penurunan kadar karbon (C) dari 0,08% ke 0,03% meningkatkan ketahanannya terhadap sensitasi dan korosi intergranular, dinamai tipe 316L. ASTM telah menstandarkan stainless steel untuk implan dalam standar ASTM F138 [16], F899 [17] and F2181 [18].

4.2. Paduan Co-Cr

Paduan ini umumnya dikenal dengan ketahanan ausnya yang luar biasa sehingga banyak dipakai untuk implan gigi dan sendi buatan. Misalnya paduan tempa Co-Ni-Cr-Mo banyak dipakai untuk membuat implan panggul dan lutut. Seperti stainless steel, paduan ini menjadi tahan korosi karena terbentuknya lapisan oksida pelindung Cr_2O_3 di permukaan. Standar ASTM yang meliput paduan ini termasuk ASTM F75 [19], F90 [20], F562 [21], dan F1537 [22].

4.3. Ti dan paduannya

Dengan rapat massa yang hanya 4,5 g/cm³, Ti menjadi logam yang sangat ringan dibanding dengan SS316L (7,9 g/cm³) dan paduan Co-Cr-Mo (8,3 g/cm³) [23]. Paduan Ti yang paling dikenal adalah Ti-6Al-4V yang memiliki kekuatan tarik dan ketahanan korosi sumuran yang tinggi berkat lapisan pelindung oksida TiO_2 . Ketika dipadu dengan Ni, paduan Ti-Ni atau

dikenal sebagai Nitinol, memiliki sifat ingat bentuk (shape memory effect) yang sangat menarik untuk aplikasi khusus seperti kawat restorasi gigi. Titanium dan paduannya untuk aplikasi medis diliput dalam standar ASTM F67 [24], F136 [25], dan F2063 [26].

4.4. Logam mulia

Logam mulia seperti emas (Au), perak (Ag), platinum (Pt) dan paduannya lebih banyak dikenal dalam kedokteran gigi karena mampu cornya yang baik, juga keuletan dan ketahanan korosinya. Termasuk kedalam paduan ini adalah Au-Ag-Cu, yang jika ditambahkan seng (Zn) dan timah (Sn) dikenal sebagai solder gigi, juga Au-Pt-Pd yang dipakai untuk reparasi gigi (porcelain-fused-to-metal) [27].

4.5. Logam dan paduan lain

Tantalum (Ta), paduan amorf dan logam biodegradabel adalah beberapa contoh logam lain untuk aplikasi implan. Karena ketajaman citra X-ray dan kerentanan magnetiknya yang rendah, Ta sering dipakai sebagai penanda X-ray untuk stent. Sementara logam amorf menunjukkan sifat menarik dimana mereka menunjukkan ketahanan korosi, ketahanan aus, kekuatan tarik dan kekuatan lelah yang lebih tinggi dibanding logam kristalin. Paduan amorf berbasis zirkonium (Zr) bermodulus elastisitas rendah dapat dipakai untuk implan tulang mini [28]. Paduan amorf magnesium (Mg) juga menunjukkan perilaku degradasi menarik dimana evolusi hidrogen tidak teramat [29].

5. Perkembangan Terbaru

5.1. Paduan bebas nikel

Pembebasan implan logam dari semua kemungkinan efek toksik akibat peluruhan elemen paduan, keausan dan korosi telah mendapat perhatian besar para peneliti. Stainless steel telah dikembangkan lebih lanjut menjadi bebas kandungan Ni karena diganti dengan elemen paduan lain dengan tetap mempertahankan kestabilan fasa austenit. Hal ini membawa pada penggunaan nitrogen (N) untuk menciptakan paduan Fe-Cr-N, Fe-Cr-Mo-N dan Fe-Cr-Mn-Mo-N [10].

5.2. Paduan bermodulus elastisitas rendah

Dalam perkembangannya, biomaterial logam diharapkan untuk memiliki modulus elastisitas rendah demi mengurangi efek pelindung beban (stress shielding effect), memiliki ketahanan aus dan kemampubentukan yang tinggi. Modulus elastisitas paduan Ti-Nb seperti Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr [30] dan Ti-35Nb-4Sn [31] dapat turun serendah 50-60 GPa, nilai yang mendekati modulus elastisitas tulang kortikal (10-30 GPa). Ketahanan aus paduan cor Co-Cr telah ditingkatkan dengan memaksimalkan kandungan C dan penambahan Zr dan N dimana pengerasan presipitat yang optimal memungkinkan formasi dan distribusi partikel halus karbida serta mencegah munculnya fasa sigma [32]. Peningkatan mampu bentuk dari paduan tempa Co-Cr didapat dari penambahan N yang mencegah formasi karbida dan fasa intermetalik [33].

5.3. Logam porus

Struktur porus dari logam menawarkan penurunan modulus elastisitas untuk lebih dekat dengan yang dimiliki tulang kortikal. Struktur ini dapat dibuat melalui proses metallurgi serbuk, metoda *space holder*, dekomposisi *foaming agent*, *rapid prototyping* dan *additive manufacturing* [34]. Kombinasi dari rapid prototyping dengan pengecoran [35], atau metallurgi serbuk [36], atau dekomposisi fiber 3D [37] dan atau *selective laser melting* [38] adalah beberapa proses menjanjikan untuk pengembangan logam porus. Fabrikasi *solid free form*, sebuah teknik manufaktur rapid prototyping, telah berhasil membuat struktur kompleks dari perancah tulang (bone scaffold). Semua teknologi ini memungkinkan pembuatan konstruksi rekayasa jaringan (tissue engineering) dengan kontrol distribusi spasial untuk pertumbuhan sel optimal [39].

5.4. Logam amorf

Peneliti biomaterial tertarik oleh munculnya logam kelas baru, logam amorf (metallic glasses) [40]. Logam amorf bebas Ni berbasis Zr menunjukkan sifat mekanik menarik dimana kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan korosinya superior dibanding paduan kristalinya [41]. Logam-logam ini memiliki resistensi tinggi terhadap kristalisasi ketika proses pendinginan sehingga memungkinkan formasi struktur amorf secara masif [42].

5.5. Logam biodegradabel

Dalam perkembangan bioteknologi terkini muncul konsep biomaterial aktif. Bioaktifitas mendorong interaksi positif antara implan dan jaringan sekitarnya. Tingkat aktivitas biologi tertentu diperlukan untuk area tertentu seperti rekayasa jaringan dimana interaksi langsung antara biomaterial dan komponen jaringan sangat esensial. Dalam kasus tertentu, fungsi biomaterial hanya diperlukan sementara waktu selama proses penyembuhan dan diharapkan terdegradasi setelahnya [11]. Polimer biodegradable (absorbabel) adalah biomaterial yang pertama diteliti dan dipakai [43]. Sementara logam biodegradabel baru-baru ini masuk dalam aplikasi klinis dengan diluncurkannya skrup dan pin tulang yang terbuat dari paduan magnesium. Informasi lebih lengkap dapat dibaca dalam referensi [11].

6. Biomaterial Non Logam

6.1. Keramik

Biomaterial keramik (biokeramik) dapat dibagi kedalam tiga kelompok: 1) biokeramik inert, seperti zirconia, alumina, aluminium nitrid dan karbon; 2) biokeramik aktif, seperti hidroksiapatit, bioglas, dsb.; 3) keramik biodegradabel, seperti kalsium aluminat, kalsium fosfat, dsb. Keuntungan, kekuatan tekan yang tinggi dan estetika membuat keramik menarik untuk membuat mahkota gigi buatan. Karbon telah dipakai untuk daun katup jantung memanfaatkan kekuatan spesifiknya yang tinggi dan hemokompatibilitasnya. Banyak biokeramik juga dipakai untuk pelapis pada permukaan implan logam, termasuk nitride, *diamond like carbon* dan yang terbaru bioglas dan hidroksiapatit. Buku yang ditulis oleh Kokubo dapat dirujuk untuk informasi lebih dalam tentang biokeramik [44].

6.2. Polimer

Keunggulan utama biomaterial polimer (biopolimer) dibanding logam dan keramik adalah kemudahan proses pembuatan produknya dalam berbagai bentuk. Biopolimer dapat dibagi menjadi dua kelompok: 1) non-absorbabel, seperti akrilik, nylon, polietilen, dll.; dan 2) absorbabel, seperti poliglikolik asid and polilaktik asid, dll. Bentuk mereka dapat berupa padat atau jeli, atau lapisan tipis di permukaan implan logam dengan sifat mekanik dan fisik yang dapat diatur. Diantara perkembangan terbarunya, polimer absorbabel telah digunakan sebagai lapisan pembawa obat (drug delivery carrier) pada ring jantung (drug eluting stent). Jenkins telah menerbitkan buku yang dapat dijadikan rujukan lanjut tentang biopolimer [45].

6.3. Komposit

Tulang adalah satu contoh biomaterial komposit dari matrik organik bermodulus elastis rendah dengan penguat fiber mineral dengan modulus elastis tinggi, berstruktur porus yang diisi cairan tubuh. Komposit memungkinkan kontrol terhadap sifat material dimana sebuah kombinasi kaku, kuat, tangguh dan ringan bisa didapat bersamaan. Contoh lain biomaterial komposit adalah implan ortopedik berstruktur poros, tambalan gigi, dan semen tulang (resin polietilen diperkuat akrilik). Rujukan lanjut tentang biomaterial komposit dapat ditemui dalam buku yang ditulis oleh Ambrosio [46].

7. Regulasi Biomaterial

Pada akhirnya, untuk bisa dipakai secara klinis sebuah biomaterial harus mendapat izin dari lembaga otoritas, misalnya *Food and Drug Administration* (FDA) di Amerika Serikat atau

European conformity (CE) marking untuk Uni Eropa. Melalui FDA, sebuah biomaterial dapat menerima izin berupa *Premarket Approval* (PMA) jika secara substansi mirip dengan yang sudah beredar sebelum legislasi FDA tahun 1976, atau harus melalui berbagai tahap evaluasi biokompatibilitas terstruktur. Di Indonesia, biomaterial dan alkes harus mendapat izin dari Kemenkes dengan mengikuti pedoman izin edar alkes yang dikeluarkan Dirjen Bina Kefarmasian dan Alat Kesehatan tahun 2014.

8. Kesimpulan

Dalam aplikasi tertentu, keramik dan polimer telah menggantikan logam sebagai biomaterial dengan pertimbangan biokompatibilitas dan biofungsionalitas. Namun, untuk implan yang memerlukan kekuatan, ketangguhan dan daya tahan tinggi, logam tidak bisa digantikan. Dengan tambahan biofungsionalitas dan aplikasi revolutioner seperti implan biodegradabel, logam akan terus digunakan sebagai biomaterial di masa depan. Arah perkembangannya menuju kombinasi dari superioritas mekanik logam dan biofungsionalitas dari keramik dan polimer untuk mencapai unjuk kerja klinik optimal dari implan. Dengan kerjasama pakar, industri lokal dan pemerintah, Indonesia akan mampu mencapai kemandirian nasional akan biomaterial dan alat kesehatan bermuatan teknologi tinggi berbasis riset.

9. Referensi:

- [1] BMI RESEARCH. Indonesia Medical Devices Report; 2015. <http://store.bmiresearch.com/indonesia-medical-devices-report.html>.
- [2] Hariyati D. Ternyata 94% alat kesehatan masih impor; 2015. <http://industri.bisnis.com/read/20140911/103/256693/ternyata-94-alat-kesehatan-masih-diimpor>.
- [3] Mahyudin F, Hermawan H. Biomaterials and Medical Devices: A Perspective from an Emerging Country. Heidelberg: Springer; 2016.
- [4] PERMENKES 86. 2013. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 86 Tahun 2013 Tentang Peta Jalan Pengembangan Industri Alat Kesehatan. Jakarta, Government of Indonesia.
- [5] Williams DF. Definitions in biomaterials. Progress in Biomedical Engineering. Amsterdam: Elsevier; 1987.
- [6] Park JB, Lakes RS. Biomaterials: An Introduction. 3rd ed. Heidelberg: Springer; 2007.
- [7] Sherman WO. Vanadium steel bone plates and screws. Surg Gynecol Obstet 1912;14:629-34.
- [8] Habibovic P, Barrère F, Blitterswijk CAV, Groot Kd, Layrolle P. Biomimetic hydroxyapatite coating on metal implants. J Am Ceram Soc 2002;83:517-22.
- [9] Lahann J, Klee D, Thelen H, Bienert H, Vorwerk D, Hocker H. Improvement of haemocompatibility of metallic stents by polymer coating. J Mater Sci Mater Med 1999;10:443-8.
- [10] Yang K, Ren Y. Nickel-free austenitic stainless steels for medical applications. Sci Technol Adv Mater 2010;11:1-13.
- [11] Hermawan H. Updates on research and development of absorbable metals for biomedical devices. Prog Biomater 2018;7:93-110.
- [12] Schneck DJ. The Biomedical Engineering Handbook. Boca Raton: CRC Press; 2000.
- [13] Hench LL, Ethridge EC. Biomaterials: The interfacial problem. Adv Biomed Eng 1975;5:35-150.
- [14] Black J. Biological Performance of Materials. New York: Plenum Press; 1984.
- [15] Niinomi M. Metals for Biomedical Devices. Cambridge: Woodhead Publishing; 2010.
- [16] ASTM. ASTM F138: Standard specification for wrought 18chromium-14nickel-2.5molybdenum stainless steel bar and wire for surgical implants (UNS S31673). West Conshohocken: ASTM International; 2003.
- [17] ASTM. ASTM F899: Standard Specification for Wrought Stainless Steels for Surgical Instruments. West Conshohocken: ASTM International; 2011.
- [18] ASTM. ASTM F2181: Standard Specification for Wrought Seamless Stainless Steel Tubing for Surgical Implants. West Conshohocken: ASTM International; 2009.
- [19] ASTM. ASTM F75: Standard Specification for Cobalt-28 Chromium-6 Molybdenum Alloy Castings and Casting Alloy for Surgical Implants (UNS R30075). West Conshohocken: ASTM International; 2007.
- [20] ASTM. ASTM F90: Standard Specification for Wrought Cobalt-20Chromium-15Tungsten-

- 10Nickel Alloy for Surgical Implant Applications (UNS R30605). West Conshohocken: ASTM International; 2007.
- [21] ASTM. ASTM F562: Standard Specification for Wrought 35Cobalt-35Nickel-20Chromium-10Molybdenum Alloy for Surgical Implant Applications (UNS R30035). West Conshohocken: ASTM International; 2007.
- [22] ASTM. ASTM F1537: Standard Specification for Wrought Cobalt-28Chromium-6Molybdenum Alloys for Surgical Implants (UNS R31537, UNS R31538, and UNS R31539). West Conshohocken: ASTM International; 2011.
- [23] Brandes EA, Brook GB. Smithells Metals Reference Book. 7th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann; 1992.
- [24] ASTM. ASTM F67: Standard Specification for Unalloyed Titanium, for Surgical Implant Applications (UNS R50250, UNS R50400, UNS R50550, UNS R50700). West Conshohocken: ASTM International; 2006.
- [25] ASTM. ASTM F136: Standard Specification for Wrought Titanium-6 Aluminum-4 Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) Alloy for Surgical Implant Applications (UNS R56401). West Conshohocken: ASTM International; 2008.
- [26] ASTM. ASTM F2063: Standard Specification for Wrought Nickel-Titanium Shape Memory Alloys for Medical Devices and Surgical Implants. West Conshohocken: ASTM International; 2005.
- [27] John C W. Biocompatibility of dental casting alloys: A review. *J Pros Dent* 2000;83:223-34.
- [28] Wang YB, Zheng YF, Wei SC, Li M. In vitro study on Zr-based bulk metallic glasses as potential biomaterials. *J Biomed Mater Res* 2011;96B:34-46.
- [29] Zberg B, Uggowitzer PJ, Loffler JF. MgZnCa glasses without clinically observable hydrogen evolution for biodegradable implants. *Nature Materials* 2009;8:887-91.
- [30] Kuroda D, Niinomi M, Morinaga M, Kato Y, Yashiro T. Design and mechanical properties of new [beta] type titanium alloys for implant materials. *Mater Sci Eng A* 1998;243:244-9.
- [31] Matsumoto H, Watanabe S, Hanada S. Beta TiNbSn alloys with low Young's modulus and high strength. *Mater Trans* 2005;46:1070-8.
- [32] Lee SH, Nomura N, Chiba A. Significant improvement in mechanical properties of biomedical Co-Cr-Mo alloys with combination of N addition and Cr-enrichment. *Mater Trans* 2008;49:260-4.
- [33] Chiba A, Lee S-H, Matsumoto H, Nakamura M. Construction of processing map for biomedical Co-28Cr-6Mo-0.16N alloy by studying its hot deformation behavior using compression tests. *Mater Sci Eng A* 2009;513-514:286-93.
- [34] Ryan G, Pandit A, Apatsidis DP. Fabrication methods of porous metals for use in orthopaedic applications. *Biomaterials* 2006;27:2651-70.
- [35] Lopez-Heredia MA, Sohier J, Gaillard C, Quillard S, Dorget M, Layrolle P. Rapid prototyped porous titanium coated with calcium phosphate as a scaffold for bone tissue engineering. *Biomaterials* 2008;29:2608-15.
- [36] Ryan GE, Pandit AS, Apatsidis DP. Porous titanium scaffolds fabricated using a rapid prototyping and powder metallurgy technique. *Biomaterials* 2008;29:3625-35.
- [37] Li JP, Habibovic P, van den Doel M, Wilson CE, de Wijn JR, van Blitterswijk CA, et al. Bone ingrowth in porous titanium implants produced by 3D fiber deposition. *Biomaterials* 2007;28:2810-20.
- [38] Hollander DA, von Walter M, Wirtz T, Sellei R, Schmidt-Rohlfing B, Paar O, et al. Structural, mechanical and in vitro characterization of individually structured Ti-6Al-4V produced by direct laser forming. *Biomaterials* 2006;27:955-63.
- [39] Hutmacher DW, Sittiger M, Risbud MV. Scaffold-based tissue engineering: rationale for computer-aided design and solid free-form fabrication systems. *Trends Biotechnol* 2004;22:354-62.
- [40] Schroers J, Kumar G, Hodges T, Chan S, Kyriakides T. Bulk metallic glasses for biomedical applications. *JOM* 2009;61:21-9.
- [41] Chen Q, Liu L, Zhang S-M. The potential of Zr-based bulk metallic glasses as biomaterials. *Front Mater Sci China* 2010;4:34-44.
- [42] Johnson W. Bulk amorphous metal—An emerging engineering material. *JOM* 2002;54:40-3.
- [43] Stack RS, Califf RM, Phillips HR, Pryor DB, Quigley PJ, Bauman RP, et al. Interventional cardiac catheterization at Duke Medical Center. *Am J Cardiol* 1988;62:3F-24F.
- [44] Kokubo T. *Bioceramics and Their Clinical Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2008.
- [45] Jenkins M. *Biomedical Polymers*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2007.
- [46] Ambrosio L. *Biomedical Composites*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2009.

Kegiatan Pembelajaran 1: Pengenalan Biosensor

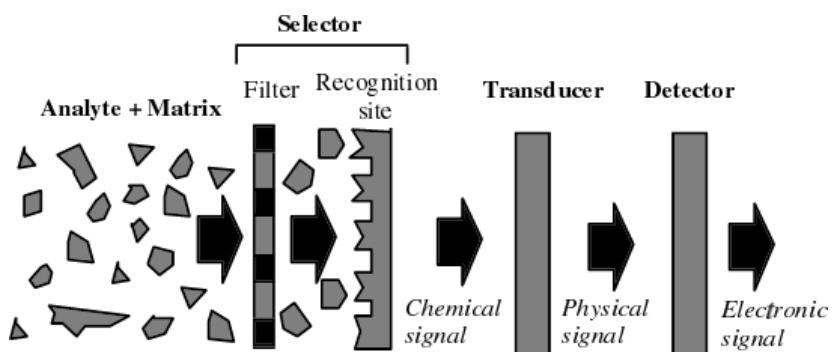
KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa memiliki pengertian dan pemahaman mengenai biosensor
2. Mahasiswa mampu menjelaskan pembentukan bayangan pada mata

URAIAN MATERI

Biosensor menurut definisi klasiknya merupakan suatu perangkat/instrumen analitik yang menggunakan biomolekul (enzim, antibodi, jaringan, sel dan mikroba) untuk melakukan pengenalan/deteksi/rekognisi (recognition) akan suatu zat (bio) kimia tertentu. Perubahan sifat fisika-kimia pada biomolekul yang mempresentasikan informasi ditransduksikan dengan transduser fisis menjadi besaran listrik. Biosensor terdiri atas dua komponen utama yaitu bioreseptor dan transduser. Bioreseptor adalah molekul yang akan mengenali analit target, dapat berupa enzim khusus, atau protein terikat seperti antibodi. Bioreseptor diimobilisasi di atas permukaan transduser. Interaksi spesifik antara analit target dan tempat pengenalan analit pada bioreseptor akan menghasilkan perubahan kimia-fisika yang kemudian akan dideteksi dan diukur oleh transduser. Transduser yang banyak digunakan dalam suatu biosensor adalah transduser elektrokimia, optoelektronik, kristal piezoelektronik, field effect transistor, dan termistor. Proses yang terjadi dalam transduser dapat berupa kalorimetrik biosensor, potensiometrik biosensor, amperometrik biosensor, optikal biosensor, maupun piezo-elektrik biosensor. Sinyal yang keluar dari transduser kemudian diproses dalam suatu sistem elektronik misalnya recorder atau komputer.

Skema operasi dari biosensor kimia diilustrasikan dalam Gambar 5.2



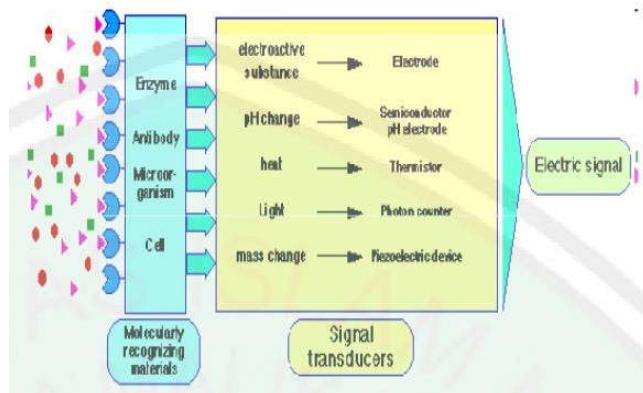
Gambar 5.2 Skema operasi dari biosensor kimia

Dalam bentuk skema umumnya biosensor terdiri dari selector, transducer, dan detector yang terhubung dalam jalur yang tepat. Selector memberi selektifitas pada sensor dan umumnya diikuti oleh filter pada sisi rekognisi. Jika sisi rekognisi ini dari biomolekul (seperti enzim, reseptor, antibodi atau DNA) maka alat ini disebut biosensor. Sisi rekognisi penting untuk menghasilkan sinyal kimia (perubahan dalam ikatan kimia) pada ikatannya dengan analit dan fungsi dari transduser adalah mengkonversi proses tersebut ke dalam pengukuran sinyal fisik (elektrik, termal, mekanik, optik dan magnetik) dan melewatkannya ke detektor yang akan menghasilkan output elektrik. Generasi pertama biosensor dikemukakan oleh Clark dan Lyons (1962) yang diimplementasikan oleh Updike dan Hicks. Generasi ini menggunakan elektroda oksigen dan mengukur penurunan arus yang disebabkan konsumsi oksigen akibat reaksi enzimatik. Generasi kedua mengukur arus yang dihasilkan dari reaksi elektro enzimatik pada sebuah molekul redoks yang berperan sebagai mediator transfer elektron antara enzim dan elektroda. Enzim sebagai reseptör terikat secara kovalen dengan permukaan transduser. Prinsip ini telah dikomersilkan dalam pengukuran kadar gula darah menggunakan glukosameter. Generasi ketiga biosensor berdasarkan transfer elektron secara langsung dari sebuah enzim pada permukaan elektroda. Enzim terikat pada sebuah peralatan elektronik yang akan mentransduksikan dan memperkuat sinyal yang dihasilkan. Biosensor meliputi tiga segmen yaitu, sensor, transduser, dan elektron terkait. Pada segmen pertama, sensor adalah bagian biologis responsif, segmen kedua adalah bagian detektor yang mengubah sinyal yang dihasilkan dari kontak analit dan untuk hasil yang ditampilkan dengan cara yang dapat diakses.

Prinsip kerja Biosensor

Prinsip kerja biosensor adalah berdasarkan immobilisasi komponen biologi (enzim, bakteri, dll) pada matriks membran polimer yang diintegrasikan dengan sinyal transduser pada analit. Komponen biologi berfungsi sebagai sensor elektroaktif yang berperan pada reaksi elektrokimia sehingga potensial yang ditimbulkan sensitive dan selektif terhadap ion tertentu. Dua elemen penting dalam biosensor adalah elemen rekognisi biologis atau atau biorreseptör dan transduser sinyal. Proses kerjanya yaitu senyawa aktif biologi akan berinteraksi dengan molekul yang akan dideteksi yang disebut molekul sasaran. Hasil interaksi yang berupa besaran fisik seperti panas, arus listrik, potensial listrik atau lainnya akan dimonitor oleh transduser. Besaran tersebut kemudian diproses sebagai sinyal sehingga diperoleh hasil yang dapat dimengerti. Biosensor yang pertama kali dibuat adalah sensor yang

menggunakan transduser elektrokimia yaitu elektroda enzim untuk menentukan kadar glukosa dengan metode amperometri.



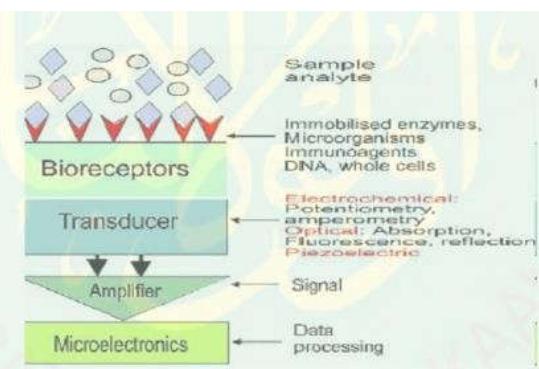
Gambar 5.3 Prinsip kerja biosensor

Prinsip kerja biosensor :

1. Biokatalis/bioreseptör/senyawa aktif biologi akan berinteraksi dengan substansi/zat kimia yang akan dideteksi (sampel analit/molekul target).
2. Hasil interaksi yang berupa besaran fisik seperti panas, arus listrik, potensial listrik atau lainnya akan dimonitor oleh transduser.
3. Besaran tersebut kemudian diproses sebagai sinyal sehingga diperoleh hasil yang dapat dipahami pada suatu layar monitor/recorder/komputer.

Sejauh ini, biosensor dalam perkembangannya mempunyai tiga generasi yaitu generasi pertama, dimana biosensor berbasis oksigen, generasi kedua, biosensor menjadi lebih spesifik yang melibatkan mediator diantara reaksi dan transduser, dan terakhir generasi ketiga, dimana biosensor berbasis enzyme coupling. kebutuhan akan biosensor sebagai perangkat analis yang mampu merespons secara selektif terhadap sampel analit yang bersesuaian dan mengubah konsentrasinya menjadi sinyal listrik melalui sistem rekognisi yang merupakan kombinasi antara unsur biologis dan transduser physico-chemical. Biosensor dapat memberikan alternatif yang kuat dan murah untuk analisis konvensional, untuk pengujian spesies kimia dalam matriks yang kompleks, biosensor dapat membedakan analit target dari sejumlah zat yang tidak dapat bereaksi dan berpotensi menginterferensi proses kimiawi, kemudian mengidentifikasi sampel yang diujikan.

Komponen-komponen yang terdapat pada biosensor



Gambar 5.4 Komponen-komponen biosensor

1. Bioreseptor/Biokatalis

Komponen biologis sebagai bioreseptor bias berupa jaringan, mikroba, organel, sel, protein, enzim, antibody, asam nukleat dll. Biasanya dalam bentuk terimmobilisasi suatu transduser. Pada Immobilisasi bias dilakukan dengan adsorpsi fisik, menggunakan membrane atau perangkap matriks, membuat ikatan kovalen antara biomolekul dengan transduser.

2. Transduser

Transduser yang digunakan dapat berupa transduser elektrokimia, optoelektronik, Kristal piezoelektronik, field effect transistor dan temistor. Proses yang terjadi dalam transduser dapat berupa calorimetric biosensor, potentiometric biosensor, amperometric biosensor, optical biosensor maupun piezo-electric biosensor. dan sinyal yang keluar dari transduser ini kemudian di proses dalam suatu sistem elektronik misalnya recorder atau komputer.

3. Prosesor/Sinyal elektronik/Amplifier

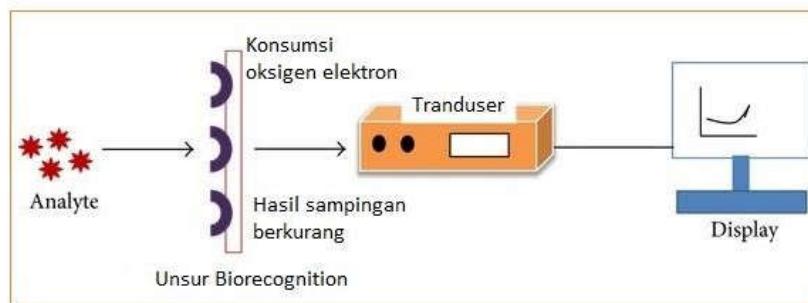
Elemen elektronik prosesor sinyal yang terutama bertanggung jawab untuk menampilkan hasil yang mudah dibaca dan dipahami.

Biosensor diklasifikasikan berdasarkan perangkat sensor serta bahan biologis :

Metode Elektrokimia

Metode elektrokimia dapat mendeteksi pertukaran elektron yang terjadi pada reaksi redoks enzim. Sehingga didapatkan hubungan dengan konsentrasi zat yang terkait dalam reaksi redoks tersebut. Reaksi (bio) elektrokimia dapat dianalisis dari pengukuran arus (amperometric), pengukuran potensial (potentiometric), dan pengukuran konduktifitas bahan (conductometric) di antara elektroda. Selain itu teknik impedimetric juga dapat digunakan

dalam analisis reaksi elektrokimia. Impedimetric pengukurannya berdasakan impedansi (resistansi dan reaktansi) dan efek luas permukaan, yang menggunakan teknologi transistor untuk mengukur arus sebagai hasil pengaruh potensiometrik pada elektroda. Metode elektrokimia yang biasa dipakai yaitu : Voltammetry (dengan mengukur tegangan terhadap arus yang tetap), Amperometry (tegangan tetap, arus terukur), Cyclic Voltammetry (arus yang diukur terhadap suatu tegangan yang berubah dengan fungsi segitiga terhadap waktu). Reaksi elektrokimia merupakan suatu reaksi kimia yang diakibatkan oleh adanya perbedaan potensial atau ketika suatu beda potensial dihasilkan akibat adanya reaksi kimia. Proses elektrokimia pada dasarnya adalah suatu reaksi redoks dimana energi dihasilkan oleh reaksi yang spontan untuk menghasilkan arus listrik atau ketika adanya arus listrik dapat menstimulasi terjadinya reaksi kimia. Dalam reaksi redoks terjadi suatu perubahan bilangan oksidasi dari atom atau ion akibat terjadinya transfer electron.



Gambar 5.5 Biosensor elektrokimia

Analit objek terlibat dalam respons yang terjadi pada permukaan elektroda aktif, dan reaksi ini dapat juga menghasilkan transfer elektron melintasi potensial lapisan ganda. Arus dapat dihitung pada potensi yang ditetapkan.

Biosensor amperometrik mengukur perubahan arus pada elektroda indikator melalui oksidasi elektrokimia atau reduksi dari produk dalam reaksi biokima. Dalam amperometrik biosensor potensial elektroda dijaga konstan ketika arus diukur. Sensor elektrokimia terdiri dari elektroda pembanding (reference electrode), elektroda pendukung (counter electrode or auxillary electrode) dan elektroda kerja (working electrode), yang juga dikenal sebagai elektroda redoks. Elektroda pembanding, umumnya dibentuk dari Ag/AgCl, jaraknya dijaga dari tempat reaksi bertujuan untuk menjaga potensial awal dan potensial stabil. Elektroda pembanding memiliki nilai potensial yang telah diketahui konstan serta tidak sensitif terhadap komposisi larutan yang dianalisis. Elektroda kerja berperan sebagai elemen transduksi dalam reaksi biokimia. Elektroda kerja merupakan tempat terjadinya reaksi yang akan merespon

analit target. Elektroda pendukung membentuk hubungan dengan larutan elektrolit sehingga arus mengalir ke elektroda kerja. Elektroda pendukung diperlukan untuk memperkecil kesalahan dari tahanan sel dalam mengontrol potensial elektroda kerja. Konfigurasi tiga elektroda digunakan untuk meminimalkan kesalahan yang diakibatkan oleh adanya lapisan produk reaksi yang ada pada elektroda. Lapisan ini akan mengakibatkan adanya hambatan tambahan pada sel elektrokimia. Elektroda pembanding dan elektroda kerja dibuat sedekat mungkin agar diperoleh hasil pengukuran dengan hambatan sel yang minimal. Jarak elektroda pembanding dan kerja yang terlalu dekat dapat mengakibatkan adanya gangguan karena spesi produk yang menempel pada elektroda. Elektroda pendukung dapat mengatasi permasalahan jarak elektroda pembanding dan kerja. Elektroda pendukung akan memberikan jalur alternatif aliran elektron dalam sel elektrokimia, dengan demikian pada elektroda pembanding tidak akan terbentuk lapisan produk reaksi. Hal ini akan membuat pengukuran dapat dilakukan dengan hambatan sel yang minimal.

Biosensor Virus Elektrokimia: Biosensor Amperometri dan Volumetri

Biosensor adalah perangkat bioanalitik yang mengintegrasikan rekognisi molekul sebagian besar biosensor yang digunakan untuk mendeteksi patogen adalah biosensor elektrokimia. Biosensor elektrokimia memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan transduser lain, antara lain memiliki sensitivitas yang tinggi, cocok untuk dikembangkan dalam skala mikro, instrumentasi yang digunakan sederhana, pengukuran tidak dipengaruhi oleh kekeruhan sampel, absorbasi atau fluoresensi komponen dalam sampel, serta dapat digunakan untuk deteksi sampel dengan berbagai jenis pelarut, sifat elektrolit dan temperatur. Deteksi secara elektrokimia biasanya digunakan untuk deteksi virus patogen dengan menggunakan rekognisi DNA-DNA, DNA-PNA, DNA-RNA dan DNA-aptamer asam nukleat. Kelebihan lain biosensor elektrokimia adalah dapat digunakan untuk analisis in-situ serta dapat dioperasikan tanpa tenaga ahli. Analisis dan deteksi virus pada biosensor jenis ini didasarkan pada prinsip afinitas, dimana antibodi digunakan untuk “mengikat” virus. Kuantifikasi dengan menggunakan biosensor elektrokimia didasarkan pada pengukuran perubahan arus, potensial dan impedansi, yang diinduksi oleh reaksi biokimia yang terjadi antara bioreseptör dengan target analit. Sebagian besar biosensor elektrokimia menggunakan transduser amperometri dan volumetri. Pada umumnya, biosensor virus elektrokimia dibagi menjadi 3, yaitu biosensor voltametri, amperometri dan impedansi.

Biosensor Amperometri

Pada biosensor amperometri hubungan antara arus dengan potensial di ukur di dalam sel elektrokimia, sedangkan biosensor voltametri mengukur tegangan pada saat tidak arus yang dialirkan. Transduser amperometri akan mendeteksi ikatan antara analit dengan biorseptor jika ada produk yang dapat menyebabkan terjadinya reaksi redoks pada permukaan elektroda, biasanya dilakukan dengan penambahan kompleks enzim antibodi-redoks. Pada umumnya biosensor amperometri menggunakan elektroda karbon *screen-printed* karena lebih stabil, murah, *disposable* dan dapat digunakan untuk volume dalam jumlah kecil. Permasalahan yang sering ditemukan pada biosensor elektrokimia adalah proses imobilisasi biorseptor. Pada proses imobilisasi, biorseptor arus dijaga agar tidak mengalami perubahan dan denaturasi. Selain itu, sensor amperometri dan volumetri sensitif terhadap perubahan pH dan ikatan molekul yang tidak spesifik sehingga dapat memberikan hasil positif palsu.



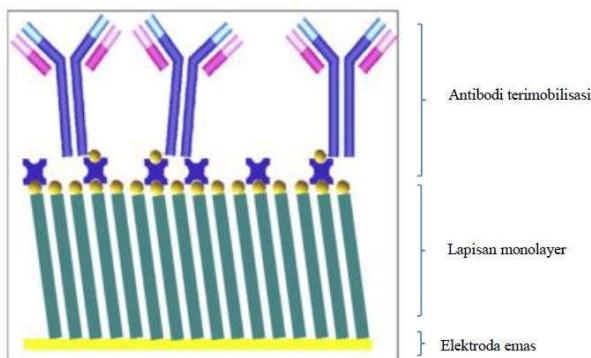
Gambar 5.6 Biosensor Amperometrik

Aturan biosensor ini didasarkan pada jumlah aliran arus antara Counter Electrode dan kerja yang didorong oleh respons redoks pada elektroda operasional. Memilih pusat analit sangat penting untuk berbagai pilihan penggunaan, terdiri dari high-throughput medicine screening, kontrol kualitas, penemuan dan penanganan masalah, dan pemeriksaan biologis. Kinerja biosensor amperometri dipengaruhi oleh aktivitas enzim, konsentrasi sampel, permeabilitas membran, jenis dan konsentrasi mediator, matrik dalam sampel. Modifikasi disain rangkaian elektroda kerja (enzym, membran, mediator) merupakan salah satu cara untuk memperbaiki kinerja sensor amperometri. beberapa pengembangan dan aplikasi biosensor elektrokimia untuk proses deteksi virus telah dipublikasikan. Biosensor elektrokimia yang dikembangkan oleh Ding, mampu mendeteksi sekuen virus hepatitis B (HBV) melalui interaksi antara DNA virus dengan indikator redoks 2,9-dimetil-1, 10-fenantrolin-kobalt. Deteksi elektrokimia pada biosensor ini dilakukan menggunakan voltametri siklik dan voltametri diferensial pulsa. Pada

kondisi optimum, sinyal elektrik yang dihasilkan memiliki linieritas pada range konsentrasi DNA target sebesar $3,96 \times 10^{-7} \sim 1,32 \times 10^{-6}$ M, dengan limit deteksi $1,94 \times 10^{-8}$ M. hal ini membuktikan bahwa biosensor ini memiliki sensitivitas yang cukup baik. Biosensor amperometri lain yang banyak dikembangkan adalah biosensor virus hepatitis C (HCV). Hepatitis C adalah penyakit yang ditemukan di hati akibat adanya infeksi virus HCV. Pada umumnya infeksi ini tidak memberikan gejala, namun dapat menyebabkan infeksi kronis yang mengakibatkan terjadinya sirosis hati setelah bertahun-tahun. Pada beberapa kasus, sirosis hati dapat menyebabkan terjadinya gagal fungsi hati, kanker hati, varises lambung dan esofagus yang dapat membahayakan jiwa. Virus lain yang penting dan dapat menginfeksi manusia adalah virus HIV. HIV adalah lentivirus yang dapat menyebabkan acquired immunodeficiency syndrome, yaitu suatu kondisi dimana terjadi kegagalan progresif dari sistem kekebalan tubuh sehingga dapat menyebabkan infeksi oportunistik yang membahayakan jiwa hingga metastasis sel kanker. Deteksi awal virus HIV sangat penting dilakukan untuk penanganan penyakit serta pencegahan penyebaran penyakit. Sebagian biosensor elektrokimia untuk deteksi virus HIV dikembangkan menggunakan teknologi nanomaterial. Salah satu biosensor virus HIV yang dikembangkan dengan teknologi nano adalah ultra trace biosensor voltametri, dengan menggunakan matriks nanotubes karbon yang berisi nano partikel perak, yang dilekatkan pada mikroelektroda emas sebagai media pendukung untuk imobilisasi 21-mer ss-DNA. Biosensor elektrokimia untuk deteksi jenis virus lain yang juga banyak dikembangkan antara lain adalah biosensor virus influenza A, virus avian influenza dan virus papilloma. Salah satu biosensor elektrokimia yang ultrasensitif untuk mendeteksi virus influenza A dikembangkan menggunakan glukosa oksidase yang dideposisikan pada nano partikel perak-heksasianoferat. Biosensor ini disebut sebagai biosensor ultrasensitif karena mampu mendeteksi ss-DNA target hingga pada rang konsentrasi femtomolar.

Biosensor Virus Elektrokimia: Biosensor Impedansi

Biosensor impedansi elektrokimia untuk deteksi virus pada umumnya dikembangkan menggunakan lapisan monolayer dan polimer konduktif pada permukaan elektroda. Skema biosensor impedansi yang dikembangkan dengan mengimobilisasi antigen pada lapisan monolayer dapat dilihat pada Gambar 5.7



Gambar 5.7 Biosensor virus yang dikembangkan dengan mengimobilisasi antibodi pada lapisan monolayer di permukaan elektroda emas

Proses hibridisasi antara biosensor dengan antivirus yang terimobilisasi, akan menimbulkan respon konduktivitas yang dapat terukur, yang kemudian akan dikonversikan menjadi perubahan resistensi dan atau kapasitansi. Deteksi terhadap perubahan kapasitansi lebih mudah dilakukan karena tidak memerlukan elektroda referensi. Akan tetapi, teknik ini memiliki beberapa kekurangan anatara lain kurang sensitif, dan ikatannya tidak spesifik, sehingga dapat memberikan hasil positif palsu.

Beberapa biosensor impedansi yang telah dikembangkan antara lain biosensor untuk deteksi virus influenza, herpes, HBV, HCV, demam, rabies dan HIV. Salah satu biosensor impedansi untuk deteksi virus berhasil dikembangkan pada tahun 2015. Biosensor ini dikembangkan dengan lapisan multilayer untuk modifikasi elektroda emas. Lapisan multilayer yang digunakan adalah 1,6-heksanaditiol, asam 11-merkaptoundekanoat, dan 5 jenis antibodi monoklonal yang diimobilisasi pada permukaan elektroda secara kovalen. Biosensor ini mampu mendeteksi 5 tipe adenovirus. Biosensor ini memiliki kemampuan deteksi yang baik, dengan limit deteksi 30 partikel virus/mL. Biosensor impedansi virus yang lain dikembangkan dengan memasangkan metode biosensor ini dengan spektroskopi elektrokimia impedansi (EIS) dan mikroskop gaya atom (AFM). Meskipun biosensor impedansi virus ini sangat potensial untuk dikembangkan, namun pengembangan metode ini masih terbilang baru. Pengembangan secara kontinyu sangat diperlukan untuk meningkatkan stabilitas, selektivitas dan sensitivitas elektroda, serta kecepatan respons sehingga mampu digunakan untuk real-time monitoring.

Ada banyak aplikasi potensial dari berbagai jenis biosensor. Persyaratan utama agar pendekatan biosensor menjadi berharga dalam hal penelitian dan aplikasi komersial adalah identifikasi molekul target, ketersediaan elemen pengenalan biologis yang sesuai, dan potensi sistem deteksi portabel sekali pakai yang lebih disukai daripada teknik berbasis laboratorium

yang sensitif dalam beberapa situasi. Beberapa contoh adalah pemantauan glukosa pada pasien diabetes, target terkait kesehatan medis lainnya, aplikasi lingkungan misalnya deteksi pestisida dan kontaminan air sungai seperti ion logam berat, penginderaan jauh dari bakteri udara misalnya dalam kegiatan kontra-bioteroris, penginderaan jauh dari kualitas air di perairan pantai dengan menggambarkan berbagai aspek etologi kerang secara online (ritme biologis, tingkat pertumbuhan, pemijahan atau catatan kematian) dalam kelompok bivalvia yang ditinggalkan di seluruh dunia, deteksi patogen, menentukan kadar zat beracun sebelum dan setelah bioremediasi, deteksi dan penentuan organofosfat, pengukuran analitis rutin asam folat, biotin, vitamin B12 dan asam pantotenat sebagai alternatif uji mikrobiologis, penentuan residu obat dalam makanan, seperti antibiotik dan promotor pertumbuhan, terutama daging dan madu, penemuan obat dan evaluasi aktivitas biologis senyawa baru, rekayasa protein dalam bio sensor, dan deteksi metabolit toksik seperti mikotoksin.

Contoh umum dari biosensor komersial adalah biosensor glukosa darah, yang menggunakan enzim glukosa oksidase untuk memecah glukosa darah. Dengan demikian pertama-tama mengoksidasi glukosa dan menggunakan dua elektron untuk mengurangi FAD (komponen enzim) menjadi FADH₂. Ini pada gilirannya dioksidasi oleh elektroda dalam sejumlah langkah. Arus yang dihasilkan adalah ukuran konsentrasi glukosa. Dalam hal ini, elektroda adalah transduser dan enzim adalah komponen yang aktif secara biologis.

Contoh Soal 5.1:

Sebutkan salah satu kelebihan biosensor elektrokimia ?

Jawab :

Kelebihan biosensor elektrokimia adalah dapat digunakan untuk analisis in-situ serta dapat dioperasikan tanpa tenaga ahli.

Contoh Soal 5.2:

Sebutkan dan jelaskan tiga segmen diagram blok dari biosensor!

Jawab :

Diagram blok dari biosensor meliputi tiga segmen yaitu, sensor, transduser, dan elektron terkait. Pada segmen pertama, sensor adalah bagian biologis responsif, segmen kedua adalah bagian detektor yang mengubah sinyal yang dihasilkan dari kontak analit dan untuk hasil yang ditampilkan dengan cara yang dapat diakses.

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikanlah mengenai biosensor
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil mengenai prinsip dan cara kerja biosensor

RANGKUMAN

1. Biosensor menurut definisi klasiknya merupakan suatu perangkat/instrumen analitik yang menggunakan biomolekul (enzim, antibodi, jaringan, sel dan mikroba) untuk melakukan pengenalan/deteksi/rekognisi (recognition) akan suatu zat (bio) kimia tertentu.
2. biosensor amperometri menggunakan elektroda karbon screen-printed karena lebih stabil, murah, disposable dan dapat digunakan untuk volume dalam jumlah kecil.
3. Beberapa biosensor impedansi yang telah dikembangkan antara lain biosensor untuk deteksi virus influenza, herpes, HBV, HCV, demam, rabies dan HIV.
4. Biosensor ini memiliki kemampuan deteksi yang baik, dengan limit deteksi 30 partikel virus/mL.
5. Biosensor ini dikembangkan dengan lapisan multilayer untuk modifikasi elektroda emas. Lapisan multilayer yang digunakan adalah 1,6-heksanaditiol, asam 11-merkaptoundekanoat, dan 5 jenis antibodi monoklonal yang diimobilisasi pada permukaan elektroda secara kovalen.
6. Prinsip kerja biosensor :
 1. Biokatalis/bioreseptör/senyawa aktif biologi akan berinteraksi dengan substansi/zat kimia yang akan dideteksi (sampel analit/molekul target).
 2. Hasil interaksi yang berupa besaran fisik seperti panas, arus listrik, potensial listrik atau lainnya akan dimonitor oleh transduser.

3. Besaran tersebut kemudian diproses sebagai sinyal sehingga diperoleh hasil yang dapat dipahami pada suatu layar monitor/recorder/komputer.
7. Proses hibridisasi antara biosensor dengan antivirus yang terimobilisasi, akan menimbulkan respon konduktivitas yang dapat terukur, yang kemudian akan dikonversikan menjadi perubahan resistensi dan atau kapasitansi.
8. Contoh umum dari biosensor komersial adalah biosensor glukosa darah, yang menggunakan enzim glukosa oksidase untuk memecah glukosa darah

EVALUASI FORMATIF 1

1. Apa yang dimaksud dengan biosensor ?
2. Jelaskan prinsip kerja biosensor !
3. Jelaskan yang dimaksud dengan Biosensor Amperometri!
4. Sebutkan biosensor impedansi yang telah dikembangkan?
5. Apa kelebihan dari biosensor impedansi ?

KUNCI JAWABAN

1. Biosensor menurut definisi klasiknya merupakan suatu perangkat/instrumen analitik yang menggunakan biomolekul (enzim, antibodi, jaringan, sel dan mikroba) untuk melakukan pengenalan/deteksi/rekognisi (recognition) akan suatu zat (bio) kimia tertentu.
2. Prinsip kerja biosensor :
 - a. Biokatalis/bioreseptör/senjawa aktif biologi akan berinteraksi dengan substansi/zat kimia yang akan dideteksi (sampel analit/molekul target).
 - b. Hasil interaksi yang berupa besaran fisik seperti panas, arus listrik, potensial listrik atau lainnya akan dimonitor oleh transduser.
 - c. Besaran tersebut kemudian diproses sebagai sinyal sehingga diperoleh hasil yang dapat dipahami pada suatu layar monitor/recorder/komputer.
3. Pada biosensor amperometri hubungan antara arus dengan potensial di ukur di dalam sel elektrokimia. Pada umumnya biosensor amperometri menggunakan elektroda karbon *screen-printed* karena lebih stabil, murah, *disposable* dan dapat digunakan untuk volume dalam jumlah kecil.
4. Beberapa biosensor impedansi yang telah dikembangkan antara lain biosensor untuk deteksi virus influenza, herpes, HBV, HCV, demam, rabies dan HIV.

5. Biosensor impedansi mampu mendeteksi 5 tipe adenovirus. Biosensor ini memiliki kemampuan deteksi yang baik, dengan limit deteksi 30 partikel virus/mL.

LEMBAR KERJA PRAKTEK 1

Kegiatan Pembelajaran 2 : Jenis-jenis Biosensor

KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

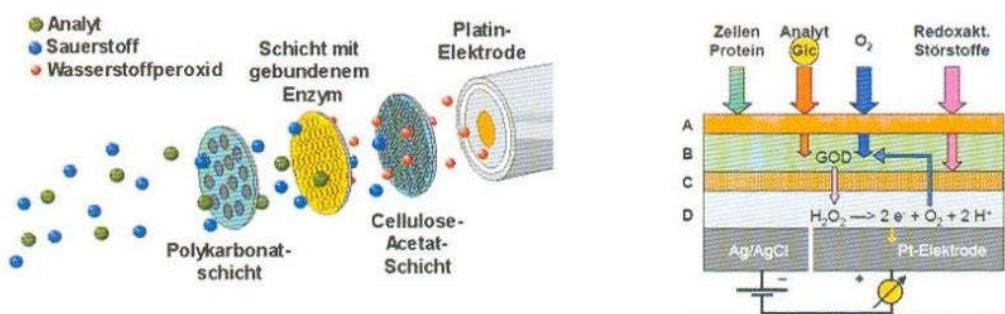
1. Mahasiswa memiliki pengertian dan pemahaman mengenai jenis biosensor
2. Mahasiswa mampu menjelaskan fungsi dari berbagai jenis biosensor

URAIAN MATERI

Selain transduser artifisial, komponen utama biosensor adalah bio molekul yang berfungsi sebagai pengindera biologis. Sampai saat ini, biomolekul yang paling dominan digunakan adalah enzim, antibodi, proba DNA, dan sel (utuh) mikroba. Didasarkan pada komponen-komponen tersebut, biosensor seringkali dikelompokkan ke dalam enzyme based-biosensor, antibody-based-biosensor, DNA based-biosensor, dan microbial based-biosensor. Dalam uraian berikut ini akan dibahas masing-masing jenis biosensor.

Biosensor Berbasis Enzim

Enzim adalah protein yang dapat mengkatalisis reaksi kimiawi dengan sangat spesifik. Spesifitas enzim inilah yang menjadi dasar mengapa enzim digunakan sebagai bio elemen suatu biosensor. Biosensor jenis ini seringkali juga disebut sebagai *enzyme electrode*, karena kebanyakan dibuat dengan cara melapisi permukaan suatu elektroda dengan enzim. Integrasi enzim dengan elektroda dan mekanisme pengukuran reaksi enzimatis seperti gambar 5.2.



Gambar 5.8 Biosensor Berbasis Enzim

Pada prinsipnya mekanisme pendektsian biosensor jenis ini dilandaskan pada dua prinsip.

Prinsip pertama melibatkan biotransformasi' senyawa target oleh enzim yang berperan

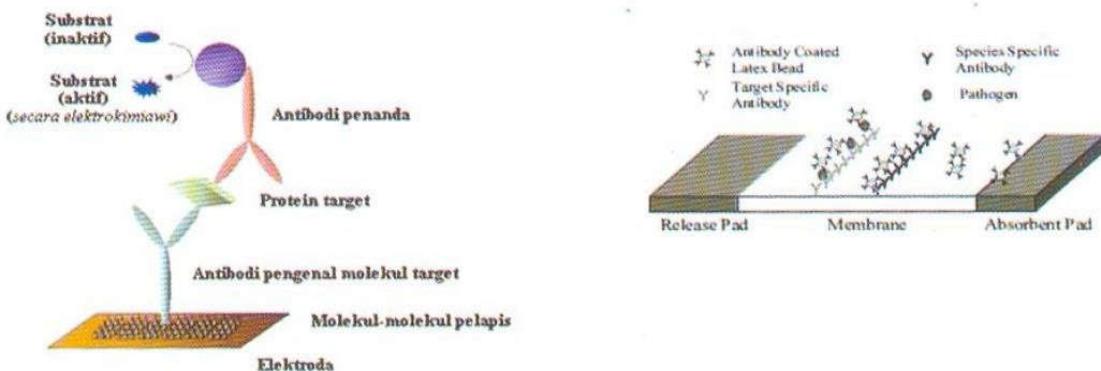
sebagai bio-elemen, sedangkan yang kedua didasarkan pada inhibitasi aktivitas enzim oleh molekul sasaran. Salah satu contoh biosensor yang dilandaskan pada mekanisme pertama adalah Biosensor Urea, yang melibatkan enzim urease. Enzim ini akan bereaksi dengan urea dan memecahkannya menjadi amonia dan karbon dioksida. Keberadaan kedua produk transformasi ini kemudian dapat dideteksi oleh sensor elektrokimia, yang berperan sebagai tranduser dalam sistem deteksi ini. Kelebihan biosensor jenis ini adalah kesederhanaan dalam desain dan operasinya, sedangkan kelemahannya secara inheren terletak pada karakteristik enzim itu sendiri. Misalnya, kinetika enzim tersebut, terutama nilai K_m (konstanta Michaelis Menten) dan V_{max} (aktivitas enzim tertinggi) sangat menentukan kinerja biosensor yang dilandasinya.

Sedangkan, biosensor yang dilandaskan pada inhibitasi enzim biasanya dikembangkan untuk mendeteksi senyawa pencemar lingkungan atau toksin. Aktivitas enzim sitokrom oksidase, misalnya, diketahui sangat peka terhadap taksin yang menghambat aktivitas transfer elektron. Efek inilah yang kemudian digunakan sebagai landasan untuk mengembangkan biosensor pendeteksi toksin samacam itu. Prinsip pengukurannya adalah sebagai berikut: enzim yang berperan dalam siklus redoks diimobilisasi di atas permukaan elaktroda. Enzim tersebut berperan sebagai penghasil sinyal bio-kimia yang diterjemahkan menjadi arus listrik oleh elektrode. Keberadaan toksin dalam sampel akan menghambat aktivitas enzim yang berakibat turunnya arus listrik. Tingkat penurunan arus ini mencerminkan konsentrasi toksin yang ada dalam sampel.

Biosensor Berbasis Antibodi

Seperti enzim, antibodi adalah juga protein. Molekul ini dihasilkan oleh sistem keimunan hewan tingkat tinggi, sebagai reaksi atas masuknya materi ‘asing’ (antigen) ke dalam tubuh. Namun, berbeda dengan enzim, antibodi tidak mengkatalisis transformasi secara kimiawi, melainkan mengikat antigen tersebut secara fisik. Antibodi juga sangat spesifik dalam mengenai dan mengikat antigen, dan karena alasan inilah protein ini banyak digunakan dalam pengembangan biosensor. Pada dasarnya, sebagian besar biosensor jenis ini tak lebih dari upaya miniaturisasi sistem bio-assay yang berbasis imuno-enzimatis, seperti ELISA (enzyme-linked, immunosorbent assay), yang disandarkan pada pendekslan *in situ* secara elektro-kimiawi maupun secara optis. Biosensor jenis ini sering juga disebut sebagai *immunosensor*, karena antibodi (immunoglobulin) merupakan elemen esensial dari sistem keimunan. Immunosensor juga digunakan untuk, menyebut biosensor yang menggunakan antigen sebagai bio elemen untuk mendeteksi dan mengkuantifikasi antibodi tertentu.

Secara umum, antibodi yang digunakan untuk mengenal molekul (antigen) sasaran diimobilisasi di atas permukaan transduser. Bila dalam sampel yang dipaparkan dalam biosensor tersebut mengandung antigen sasaran, maka antigen tersebut akan diikat dan menghasilkan kompleks antigen-antibodi. Kompleks ini akhirnya mengubah parameter fisik-kimiawi di permukaan transduser (Gambar 5.9).



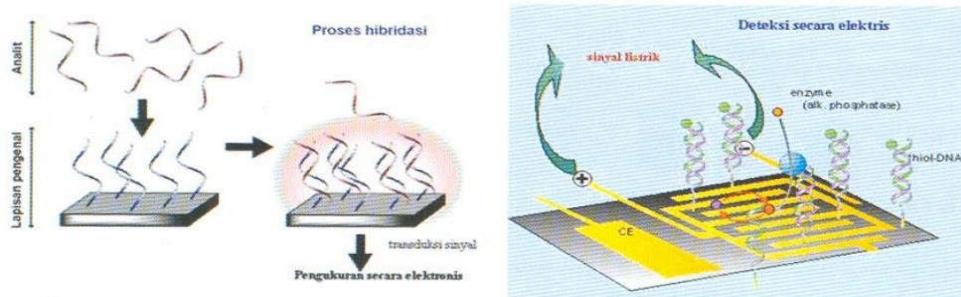
Gambar 5.9 Biosensor Berbasis Antibodi

Sistem pendektsian antigen secara langsung dapat didasarkan pada terbentuknya ikatan antibodi- antigen, dan secara tidak langsung melalui pendektsian sinyal yang dipancarkan oleh antigen yang diberi penanda, misalnya radioaktif, chemiluminesen, ataupun penanda lainnya. Dengan tersedianya beragam antibodi, baik monoklonal maupun poliklonal, dan juga berbagai format bio-assay yang dirancang hampir Untuk setiap jenis transduser pengolah sinyal, maka banyak biosensor jenis ini yang dikembangkan untuk men.deteksi berbagai jenis senyawa/molekul traget.

Biosensor Berbasis Asam Nukleat

Biosensor yang menggunakan reseptor berbasis asam nukleat dapat didasarkan pada interaksi pasangan basa komplementer yang disebut sebagai genosensor atau mimik antibodi berbasis asam nukleat spesifik (aptamers) sebagai aptasensor. Dalam yang pertama, proses pengakuan didasarkan pada prinsip pasangan basa komplementer, adenine : timin dan sitosin : guanin dalam DNA. Jika urutan asam nukleat target diketahui, sekuen komplementer dapat disintesis, diberi label, dan kemudian diimobilisasi pada sensor. Hibridasi dapat dideteksi secara optik dan keberadaan target DNA/RNA dipastikan. Yang terakhir aptamers yang dihasilkan terhadap target mengenalinya melalui interaksi-interaksi nonkovalen tertentu dan pemasangan yang diinduksi. Aptamers ini dapat dilabeli dengan nanopartikel fluorophore/logam dengan mudah untuk deteksi optik atau dapat digunakan untuk platform deteksi berbasis elektrokimia atau berbasis kantilever label untuk berbagai molekul target atau target kompleks seperti sel dan virus. Melimpahnya informasi tentang sekuen DNA yang

dihadirkan oleh berbagai riset dan studi genom telah dimanfaatkan untuk pengembangan biosensor/biochips yang dilandaskan pada probe-DNA. Piranti semacam itu terbukti sangat cocok untuk *genetic screening* dalam skala benar. Kinerja biosensor ini dilandaskan pada pendekstian proses hibridasi/interaksi antara potongan asam nukleat (probe) yang diimmobilisasi dan diletakkan di atas permukaan transducer dengan trarget (gambar 5.8)



Gambar 5.10 Biosensor Berbasis Asam Nukleat

Selain DNA, pemahaman tentang struktur dan fungsi RNA juga membuka perspektif baru dalam pengembangan metode diagnostik dan analitik, terutama pemahaman tentang aptamers (sekuen RNA yang mempunyai afinitas untuk mengikat obat atau molekul spesifik) dan aptazyme (RNA yang dapat bertindak sebagai sebuah enzim). Pengetahuan ini merupakan landasan umuk pengembangan biosensor jenis baru. Dengan menggunakan penanda fluoresens, misalnya, terbentuknya ikatan amptamers dengan senyawa target, dapat dikuantifikasi dan dideteksi melalui sinyal fluoresens yang terbentuk. Dengan evolusi *in-vitro* dapat dirancang dan dibuat aptamers atau aptazyme yang dapat mengenal dan mengikat sembarang target, seperti ions, metabolit, obat-obatan, toksin, peptida dan protein.

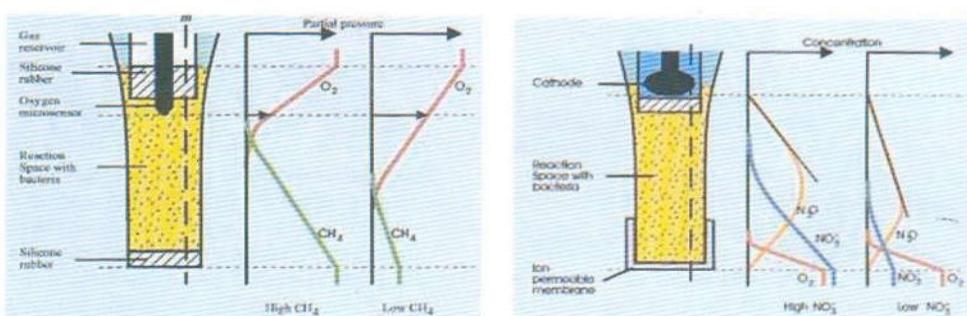
Biosensor Berbasis Sel atau Mikroba

Biosensor jenis ini dapat didesain sebagai piranti yang portable yang mengandung sel hidup untuk memantau perubahan fisiologis yang diinduksi oleh kondisi lingkungan, seperti polutan, toksin, patogen atau senyawa lainnya. Perubahan fisiologis ini dapat dideteksi secara elektrokimia maupun optis dan di masa depan, mungkin atas dasar proteo- dan genomiks fungsional. Selain itu, perkembangan riset dalam sel-tunas (*stem-cell*) dan tehnologi kultur tiga dimensi, misalnya, juga telah meningkatkan kelayakan biosensor ini untuk aplikasi di lapangan. Penggunaan biosensor jenis ini terutama diarahkan untuk pendekstian berjangkauan luas, mulai dari senyawa pencemar yang tak dikenal sampai dengan dan pengkajian senyawa yang telah diketahui secara fungsional.

Secara umum, biosensor mikroba merupakan alternatif yang menarik dari metode analisa air yang telah ada. Keuntungan utama sistem ini adalah kemampuannya untuk mengukur secara

langsung dampak pencemaran lingkungan terhadap mikroba, misalnya terhadap aktivitas respirasi dan perubahan fisialogis lainnya. Dibandingkan dengan metode analisis secara fisiko-kimia yang sudah mapan, biosensor jenis ini diakui tidak mampu memberi solusi yang optimal dalam menentukan analit secara individual. Sistem ini memang paling tepat bila diarahkan untuk penentuan secara menyeluruh mengenai keberadaan dan interaksi beragam polutan serta dampaknya terhadap lingkungan. Selain itu, piranti ini merupakan alat yang cocok dalam monitoring secara *online* karena tingginya stabilitasnya. Biosensor mikroba yang dilandaskari pada proses respirasi sudah banyak dikembangkan, antara lain untuk pengukuran nitrogen anorganik, logam berat, senobiatika, BOD dan untuk mengamati inhibisi proses denitrifikasi. Selain proses itu, jalur metabolisme mikroorganisme tertentu juga dimanfaatkan untuk pengembangan biosensor untuk mendeteksi polutan atau senyawa yang lebih selektif, terutama yang tidak dapat dilakukan dengan reaksi enzimatis sederhana, misalnya senyawa aromatik, logam berat.

Secara prinsip, biosensor mikroba dikembangkan dengan cara mengintegrasikan sel mikroba yang diimmobilisasi dalam seuatu matriks dengan transduser artifisial. Sel mati dapat digunakan sebagai bio elemen, apabila tujuan penggunaan sel tersebut hanya sebagai substitusi enzim yang lebih murah, namun bila fungsi-fungsi metabolismik/respirasi mikroba tersebut yang diinginkan, maka sel yang hidup harus digunakan. Dalam mekanisme ini, analit yang menjadi sasaran pendekatan dapat bertindak sebagai substrat atau sebagai inhibitor dari proses tersebut. Mikroba yang telah dimanipulasi secara genetis (GMO) juga banyak digunakan untuk pengembangan biosensor, sehingga mampu berpendar (menghasilkan sinyal bioluminesens) bila mendeteksi senyawa sasaran.



Gambar 5.11 Aplikasi Biosensor Mikroba dalam Lingkungan

Contoh Soal 5.4:

Apa kelebihan dari biosensor enzim ?

Jawab :

Kelebihan biosensor jenis ini adalah kesederhanaan dalam desain dan operasinya, sedangkan kelemahannya secara inheren terletak pada karakteristik enzim itu sendiri.

Contoh Soal 5.3:

Apa keuntungan utama penggunaan biosensor mikroba pada lingkungan ?

Jawab :

Keuntungan utama sistem ini adalah kemampuannya untuk mengukur secara langsung dampak pencemaran lingkungan terhadap mikroba, misalnya terhadap aktivitas respirasi dan perubahan fisialogis lainnya.

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikanlah mengenai Biosensor
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil mengenai penggunaan jenis-jenis biosensor

RANGKUMAN

1. komponen utama biosensor adalah bio molekul yang berfungsi sebagai pengindera biologis. Sampai saat ini, bio molekul yang paling dominan digunakan adalah enzim, antibodi, proba DNA, dan sel (utuh) mikroba.
2. Enzim adalah protein yang dapat mengkatalisasi reaksi kimiawi dengan sangat spesifik. Spesifitas enzim inilah yang menjadi dasar mengapa enzim digunakan sebagai bio elemen suatu biosensor.
3. Antibodi juga sangat spesifik dalam mengenai dan mengikat antigen, dan karena alasan inilah protein ini banyak digunakan dalam pengembangan biosensor.
4. Kinerja biosensor nukleat dilandaskan pada pendekatan proses hibridasi/interaksi antara potongan asam nukleat (probe) yang diimmobilisasi dan diletakkan di atas permukaan transducer dengan target
5. Biosensor mikroba dapat didesain sebagai peralatan yang portabel yang mengandung sel hidup untuk memantau perubahan fisiologis yang diinduksi oleh kondisi lingkungan, seperti polutan, toksin, patogen atau senyawa lainnya. Sel batang berfungsi untuk penglihatan hitam putih pada cahaya remang-remang; juga untuk membedakan bayangan gelap atau terang dan melihat bentuk dan pergerakan.

EVALUASI FORMATIF 2

1. Jelaskan kedua prinsip mekanisme pendekatan biosensor enzim?
2. Apa yang dimaksud dengan Biosensor jenis antibody ?
3. Jelaskan penggunaan biosensor jenis mikroba ?
4. Bagaimana pengembangan biosensor jenis mikroba ?
5. Bagaimana Kinerja biosensor berbasis asam nukleat?

KUNCI JAWABAN

1. Prinsip pertama melibatkan biotransformasi' senyawa target oleh enzim yang berperan sebagai bio-elemen, sedangkan yang kedua didasarkan pada inhibisi aktivitas enzim oleh molekul sasaran.
2. Biosensor jenis ini sering juga disebut sebagai *immunosensor*, karena antibodi (immunoglobulin) merupakan elemen esensial dari sistem keimunan. Immunosensor juga digunakan untuk, menyebut biosensor yang menggunakan antigen sebagai bio elemen untuk mendeteksi dan mengkuantifikasi antibodi tertentu.
3. Penggunaan biosensor jenis mikroba terutama diarahkan untuk pendekslan berjangkauan luas, mulai dari senyawa pencemar yang tak dikenal sampai dengan dan pengkajian senyawa yang telah diketahui secara fungsional.
4. biosensor mikroba dikembangkan dengan cara mengintegrasikan sel mikroba yang diimobilisasi dalam seuatu matriks dengan transduser artifisial. Sel mati dapat digunakan sebagai bio elemen, apabila tujuan penggunaan sel tersebut hanya sebagai substitusi enzim yang lebih murah, namun bila fungsi-fungsi metabolismik/respirasi mikroba tersebut yang diinginkan, maka sel yang hidup harus digunakan. Dalam mekanisme ini, analit yang menjadi sasaran pendekslan dapat bertindak sebagai substrat atau sebagai inhibitor dari proses tersebut.
5. Kinerja biosensor ini dilandaskan pada pendekslan proses hibridasi/interaksi antara potongan asam nukleat (probe) yang diimobilisasi dan diletakkan di atas permukaan transducer dengan traget

LEMBAR KERJA PRAKTEK 2

Kegiatan Pembelajaran 3 : Biosensor sebagai Alat Diagnosis

KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa memiliki pengertian dan pemahaman mengenai biosensor sebagai alat diagnosis
2. Mahasiswa mampu menjelaskan penerapan biosensor sebagai alat diagnosis

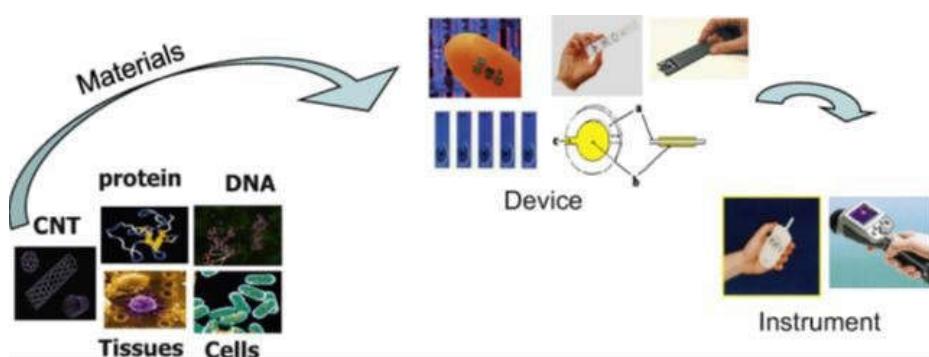
URAIAN MATERI

Biosensor didefinisikan sebagai perangkat bioanalitik yang menggabungkan entitas pengenalan molekul yang terintegrasi dengan transduser fisiko kimia. Untuk mengembangkan teknologi biosensor yang tepat, biomarker spesifik perlu diidentifikasi untuk memastikan spesifitas perangkat. Biosensor menyediakan analisis biomarker dengan beberapa keuntungan antara lain mudah digunakan, murah, cepat, dan kuat serta menawarkan kemampuan pengujian multi-analit untuk diagnosis kanker. Dalam perkembangan diagnosis kanker, dibutuhkan metode yang dapat efektif untuk mendeteksi dini adanya kanker pada pasien. Aplikasi tersebut dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengkombinasikan metode terbaik yang telah ada, yaitu teknologi nanopartikel dan teknologi biosensor sehingga dapat diperoleh metode yang lebih baik dari sebelumnya.

Biomarker Kanker

Antigen terkait tumor telah digunakan sebagai biomarker untuk diagnosis kanker. Biomarker tersebut terdiri dari molekul seluler yang dapat dideteksi dalam sel-sel tumor, darah, urin, atau cairan tubuh lain yang diekspresikan berlebihan karena onset dan pertumbuhan kanker. Sampai saat ini ada sejumlah biomarker yang telah diidentifikasi dengan berbagai jenis kanker. Berbagai entitas pengenalan molekuler telah digunakan untuk deteksi biomarker. Yang paling banyak digunakan adalah molekul antibodi, yang menyediakan spesifitas dan sensitivitas yang diperlukan untuk tingkat rendah deteksi molekul. Biomarker dapat digunakan untuk diagnosis dini, pemantauan penyakit dan prognosis serta penanda prediktif. Banyak biomarker yang masih melalui evaluasi untuk meningkatkan spesifitas dan sensitivitas dalam penggunaan klinisnya. Protein yang diekspresikan secara berlebihan sebagai hasil dari pertumbuhan sel kanker telah digunakan sebagai biomarker untuk diagnosis kanker. Sebagai contoh, antigen spesifik prostat (PSA), yang bertanggung jawab untuk

pencairan cairan mani dan juga hadir dalam serum pasien pria, digunakan sebagai biomarker. Tingkat PSA dapat meningkat secara nyata dalam serum karena kanker prostat. Oleh karena itu, protein ini telah digunakan sebagai biomarker kanker prostat untuk diagnosis dan pemantauan. Namun, meskipun PSA adalah penanda yang sangat sensitif, spesifisitasnya rendah. Untuk mengenali secara spesifik biomarker kanker, bahan pengenalan yang optimal harus diimplementasikan sebagai reseptor dalam desain biosensor. Ini sangat penting untuk diagnosis medis karena sensitivitas dan spesifisitas akan memainkan peran penting dalam keberhasilan perangkat sensor.



Gambar 5.12 Konstruksi Biosensor

Aplikasi Kombinasi Nanopartikel Dan Biosensor Pada Diagnosis Kanker

Pengiriman obat ke jaringan target dapat dicapai terutama dengan dua cara dasar: a) penargetan pasif; dan b) penargetan aktif. Penargetan pasif mengacu pada akumulasi obat atau sistem pembawa obat di lokasi yang diinginkan karena faktor fisikokimia atau farmakologis. Penargetan aktif mengambil keuntungan dari perbedaan antara sel kanker dan sel normal dalam hal reseptor dan ekspresi antigen. Berbagai reseptor permukaan sel dan beberapa antigen diekspresikan secara unik hanya dalam sel kanker. Penargetan aktif biasanya menggunakan konjugasi permukaan nanopartikel dengan bagian penargetan yang disebut ligand, yang memiliki afinitas selektif untuk reseptor permukaan atau antigen pada sel, jaringan atau organ tertentu dalam tubuh. Aplikasi kombinasi nanopartikel dalam pengembangan biosensor berkisar pada perangkat transduser, ligan pengenalan, label dan sistem nanorunning. Peningkatan penggunaan metode ini disebabkan oleh keunggulan luar biasa yang ditawarkan yaitu melalui miniaturisasi perangkat, peningkatan sinyal, dan penguatan sinyal oleh label nanopartikel sehingga meningkatkan sensitivitas.

Biosensor Sebagai Diagnostik Terbaru Terhadap Penyakit Gonore

Penegakan diagnosis gonore didasarkan atas anamnesis, pemeriksaan fisik, dan pemeriksaan penunjang dengan gold standard pemeriksaan kultur. Pemeriksaan dengan kultur

memerlukan waktu dua hingga tiga hari dalam memastikan adanya infeksi *N. gonorrhoeae* dengan biaya yang tidak murah dan belum tentu ada di setiap fasilitas kesehatan sehingga diperlukan diagnostik baru untuk menentukan infeksi gonore dengan cepat dan tepat. Biosensor adalah teknologi baru dalam diagnostik. Biosensor DNA elektrokimia didasarkan pada integrasi probe sekuen spesifik dengan transduser sinyal elektrokimia yang mengubah peristiwa pasangan basa hibridisasi DNA menjadi sinyal listrik yang berguna. Ini termasuk sistem PACE-Gen-Probe chemiluminescent untuk identifikasi *N. gonorrhoeae* dalam sampel klinis dengan pulasan urogenital-endoserviks dan ORTHO Probe biotinylated and Chemiluminescent Accu Probe untuk konfirmasi identifikasi *N. gonorrhoeae*. Sensitivitas, spesifitas, nilai prediksi positif, dan nilai prediksi negatif dari uji biosensor adalah 96,2%, 88,2%, 92,6%, dan 93,8%, masing-masing bila dibandingkan dengan kultur, yang merupakan gold standard CUI (+) adalah 0,89 dan CUI (-) adalah 0,83 merupakan tes yang sangat baik.

Biosensor Virus Untuk Deteksi Penyakit Patogen

Biosensor dikembangkan dengan mengintegrasikan sinyal biologis dari molekul seperti enzim, antibodi, fag-aptamer, atau rantai tunggal DNA dengan suatu transduser fisikokimia yang sesuai, menjadi sinyal elektrik yang bermakna. Sejak pertama kali dikembangkan oleh Clark dan Lyons pada tahun 1962 dengan mengimobilisasi enzim glukosa oksidase pada permukaan elektroda untuk mendeteksi glukosa darah, teknologi biosensor berkembang sangat pesat, salah satunya biosensor untuk mendeteksi virus. Setiap jenis virus memiliki mekanisme aksi yang berbeda. Secara umum virus terdiri dari virion (10-100 nm), yang mengandung genom DNA atau RNA yang dikemas dalam suatu kapsid. Asam nukleat virus berfungsi untuk membawa informasi genetik yang diperlukan saat replikasi virus pada sel inang, sedangkan kapsid berfungsi untuk melindungi asam nukleat dari nukleasis dan membantu proses penempelan virus ke sel inang. Virus memerlukan sel inang untuk dapat bereproduksi dan bertahan hidup, dan sebagian besar virus bersifat patogen bagi manusia. Virus dapat berpindah melalui makanan dan lingkungan, misalnya HRV, HEV, HAVs, astrovirus, sapovirus, enterovirus, coronavirüs, parvovirus, rotavirus, adenovirus, dan lain-lain⁴. Hingga saat ini, rotavirus masih menjadi salah satu penyebab utama diare pada anak, dan dilaporkan menyebakan kematian hingga 5% penderita setiap tahunnya. Adenovirus merupakan virus yang menyebabkan infeksi saluran nafas, okular hingga enterik. Virus tersebut merupakan satu dari banyak virus yang sulit didiagnosa, karena memberikan gejala yang sangat sedikit. Di beberapa negara berkembang, penyakit yang disebabkan oleh virus lain seperti malaria, TB, pneumonia, influenza dan HIV pernah menjadi pandemic Penyakit

yang disebabkan oleh virus dapat dicegah, tetapi sayangnya ratusan bahkan ribuan kasus kematian, terutama yang menimpa anak-anak dan balita setiap tahunnya disebabkan oleh virus. Oleh karena itu, penyakit patogen yang disebabkan oleh virus menjadi masalah serius yang perlu diperhatikan. Hingga saat ini, proses deteksi dan kuantifikasi virus masih banyak dilakukan dengan metode konvensional. Metode konvensional yang banyak dilakukan adalah pengujian secara mikrobiologi. Meskipun metode pengujian tersebut memiliki sensitivitas yang cukup tinggi, namun pengujian secara mikrobiologi memerlukan waktu yang relatif lama, meliputi tahap kultur sel yang membutuhkan waktu 2-10 hari, tergantung pada jenis virus yang dideteksi, diikuti dengan tahap pengujian imunologi. Selain itu, pengujian secara mikrobiologi harus dilakukan oleh tenaga ahli. Infeksi yang disebabkan oleh virus seringkali memberikan gejala umum yang hampir sama, sehingga menyulitkan dokter untuk menentukan diagnosa. Penggunaan teknologi biosensor untuk mendeteksi virus akan memungkinkan dokter untuk memastikan virus penyebab suatu infeksi dengan cepat dan memberikan resep dan jenis penanganan yang tepat. Adanya antibodi spesifik dapat dideteksi menggunakan komponen virus sebagai agen sensing untuk menunjukkan sejarah infeksi pada pasien non-imunocompromised.

Deteksi dan kuantifikasi virus merupakan hal yang mendasar untuk beragam aplikasi, mulai dari sanitasi dan produksi makanan hingga untuk kepentingan diagnostik dan terapeutik. Pengembangan teknologi biosensor untuk dapat menghasilkan biosensor virus yang efisien, sensitif, mudah dan ekonomis masih terus dilakukan hingga saat ini. Terdapat beberapa jenis biosensor virus yang telah dikembangkan, antara lain metode optik seperti Surface Plasmon Resonance (SPR), serat optik, kuantum dot, elektrokimia seperti amperometri, voltametri, impedansi dan material nano.

Contoh Soal 5.5:

Sebutkan dua cara dasar Pengiriman obat ke jaringan target pada diagnosis kanker !

Jawab :

Pengiriman obat ke jaringan target dapat dicapai terutama dengan dua cara dasar: apenargetan pasif dan penargetan aktif.

Biosensor glukosa untuk mendeteksi gula darah

Biosensor glukosa telah dikembangkan secara luas untuk mengukur kadar glukosa darah. Kinerja biosensor glukosa terus ditingkatkan untuk menghasilkan biosensor dengan aktivitas dan stabilitas yang semakin baik. Faktor kunci keberhasilan dalam pengembangan biosensor glukosa berbasis enzim adalah ketepatan penggunaan teknik dan matriks imobilisasi sehingga eksplorasi material yang dapat digunakan sebagai matriks pengimobilisasi terus dilakukan. Glukosa dehidrogenase (GDH) adalah enzim yang berperan dalam reaksi oksidasi langsung glukosa membentuk asam glukona. Enzim GDH aktif dalam pengambilan atom hidrogen dari substrat (spesifik terhadap substrat glukosa) dan aktivitasnya tidak dipengaruhi kadar oksigen. Reaksi oksidasi glukosa membentuk asam glukonat dengan bantuan enzim GDH merupakan jalur lain dari proses metabolisme glukosa selain jalur fosforilasi membentuk glukosa-6-fosfat. Proses reaksi oksidasi glukosa ini juga bersamaan dengan terjadinya transfer elektron ke ubiquinon oksidase melalui ubiquinon pada rantai respirasi. Enzim imobilisasi adalah suatu enzim yang secara fisik maupun kimia tidak bebas bergerak sehingga enzim dapat dikendalikan kapan harus kontak dengan substrat. Proses ini dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Cara fisika merupakan cara yang tidak melibatkan pembentukan ikatan kovalen. Cara ini umumnya revesibel, yaitu enzim dapat kembali pada keadaan aslinya. Sedangkan cara kimia merupakan cara imobilisasi enzim yang melibatkan paling sedikit satu ikatan kovalen antara dua atau lebih residu enzim yang sejenis. Cara kimia menjadikan molekul ireversibel, yaitu enzim tidak dapat kembali ke keadaan aslinya. Keuntungan enzim yang diimobilisasi dibandingkan dengan enzim bebas adalah dapat digunakan kembali, sesuai untuk aplikasi dalam operasi yang berkesinambungan, menghasilkan produk yang bebas enzim sehingga tidak perlu dilakukan proses lebih lanjut seperti penghilangan atau penginaktifan enzim dan meningkatkan stabilitas dari aktivitas enzim. Enzim redoks banyak digunakan dalam biosensor elektrokimia karena enzim ini dapat menghasilkan atau menggunakan elektron dalam mengatalisis uatu substrat menjadi produk. Ada beberapa pemasalahan yang muncul dalam penggunaan enzim dalam biosensor, yaitu: pemulihan enzim, stabilisasi enzim, selektivitas enzim dan reduksi inhibisi oleh medium atau produk. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menjaga kestabilan enzim adalah dengan melakukan imobilisasi enzim pada material yang berpori dan untuk meningkatkan stabilitas dapat digunakan nanomaterial. Nanomaterial dapat meningkatkan reaktivitas elektrokimia biomolekul dan dapat meningkatkan reaksi transfer elektron pada protein.

Contoh Soal 5.6:

Jelaskan fungsi asam nukleat virus !

Jawab :

Asam nukleat virus berfungsi untuk membawa informasi genetik yang diperlukan saat replikasi virus pada sel inang

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikanlah manfaat biosensor sebagai alat diagnosis
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil cara diagnosis menggunakan biosensor

RANGKUMAN

1. Biosensor menyediakan analisis biomarker dengan beberapa keuntungan antara lain mudah digunakan, murah, cepat, dan kuat serta menawarkan kemampuan pengujian multi-analit untuk diagnosis kanker.
2. Antigen terkait tumor telah digunakan sebagai biomarker untuk diagnosis kanker. Biomarker tersebut terdiri dari molekul seluler yang dapat dideteksi dalam sel-sel tumor, darah, urin, atau cairan tubuh lain yang diekspresikan berlebihan karena onset dan pertumbuhan kanker.
3. Penegakan diagnosis gonore didasarkan atas anamnesis, pemeriksaan fisik, dan pemeriksaan penunjang dengan gold standard pemeriksaan kultur
4. Biosensor DNA elektrokimia didasarkan pada integrasi probe sekuen spesifik dengan transduser sinyal elektrokimia yang mengubah peristiwa pasangan basa hibridisasi DNA menjadi sinyal listrik yang berguna.
5. Biosensor dikembangkan dengan mengintegrasikan sinyal biologis dari molekul seperti enzim, antibodi, fag-aptamer, atau rantai tunggal DNA dengan suatu transduser fisikokimia yang sesuai, menjadi sinyal elektrik yang bermakna.
6. Terdapat beberapa jenis biosensor virus yang telah dikembangkan, antara lain metode optik seperti Surface Plasmon Resonance (SPR), serat optik, kuantum dot, elektrokimia seperti amperometri, voltametri, impedansi dan material nano

7. Biosensor glukosa telah dikembangkan secara luas untuk mengukur kadar glukosa darah. Kinerja biosensor glukosa terus ditingkatkan untuk menghasilkan biosensor dengan aktivitas dan stabilitas yang semakin baik.

EVALUASI FORMATIF 3

1. Jelaskan yang dimaksud dengan Adenovirus !
2. Jelaskan dua cara dasar Pengiriman obat ke jaringan target pada diagnosis kanker!
3. Jelaskan Diagnostik Terhadap Penyakit Gonore!
4. Apa kegunaan dari Biomarker ?
5. Sebutkan jenis biosensor virus ?

KUNCI JAWABAN

1. Adenovirus merupakan virus yang menyebabkan infeksi saluran nafas, okular hingga enterik. Virus tersebut merupakan satu dari banyak virus yang sulit didiagnosa, karena memberikan gejala yang sangat sedikit.
2. Pengiriman obat ke jaringan target dapat dicapai terutama dengan dua cara dasar: a) penargetan pasif; dan b) penargetan aktif. Penargetan pasif mengacu pada akumulasi obat atau sistem pembawa obat di lokasi yang diinginkan karena faktor fisikokimia atau farmakologis. Penargetan aktif mengambil keuntungan dari perbedaan antara sel kanker dan sel normal dalam hal reseptor dan ekspresi antigen..
3. Penegakan diagnosis gonore didasarkan atas anamnesis, pemeriksaan fisik, dan pemeriksaan penunjang dengan gold standard pemeriksaan kultur. Pemeriksaan dengan kultur memerlukan waktu dua hingga tiga hari dalam memastikan adanya infeksi N.
4. Biomarker dapat digunakan untuk diagnosis dini, pemantauan penyakit dan prognosis serta penanda prediktif.
5. Terdapat beberapa jenis biosensor virus yang telah dikembangkan, antara lain metode optik seperti Surface Plasmon Resonance (SPR), serat optik, kuantum dot, elektrokimia seperti amperometri, voltametri, impedansi dan material nano

LEMBAR KERJA PRAKTEK 3

Modul 6:

Biomolekuler

PENDAHULUAN

Kemajuan dalam pengetahuan kita mengenai sifat molekuler gen dan aksi gen tidak saja menarik perhatian masyarakat ilmiah tetapi juga yang bukan ilmuan. Termasuk dalam pengetahuan bagaimana sel itu berfungsi, adalah potensi untuk mengubah atau mengendalikan fungsi-fungsi ini. Hingga sekarang, penelitian biologi terbatas terutama pada pengamatan pengamatan fenomena alami. Sekarang kita menghadapi prospek mampu mengendalikan dan mengarahkan sistem-sistem hidup. Ini merupakan ilmu yang sebelumnya belum pernah dijumpai, kecuali mungkin dalam ilmu khayalan, dan sebagai akibatnya, terjadi perdebatan terhadap kontrol yang bagaimana di inginkan. Istilah biologi molekular pertama kali dikemukakan oleh William Astbury pada tahun 1945. Pengertian biologi molekular pada saat ini merupakan ilmu yang mempelajari fungsi dan organisasi jasad hidup (organisme) ditinjau dari struktur dan regulasi molekular unsur atau komponen penyusunnya (Yuwono, 2007).

Biologi molekular atau biologi molekul merupakan salah satu cabang biologi yang merujuk kepada pengkajian mengenai kehidupan pada skala molekul. Ini termasuk penyelidikan tentang interaksi molekul dalam benda hidup dan kesannya, terutama tentang interaksi berbagai sistem dalam sel, termasuk interaksi DNA, RNA, dan sintesis protein, dan bagaimana interaksi tersebut diatur. Bidang ini bertumpang tindih dengan bidang biologi (dan kimia) lainnya, terutama genetika dan biokimia. Biologi Molekuler juga merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari hubungan antara struktur dan fungsi molekul-molekul hayati serta kontribusi hubungan tersebut terhadap pelaksanaan dan pengendalian berbagai proses biokimia. Secara lebih ringkas dapat dikatakan bahwa Biologi Molekuler mempelajari dasar-dasar molekuler setiap fenomena hayati. Oleh karena itu, materi kajian utama di dalam ilmu ini adalah makromolekul hayati, khususnya asam nukleat, serta proses pemeliharaan, transmisi, dan ekspresi informasi hayati yang meliputi replikasi, transkripsi, dan translasi.

Mahluk hidup yang menjadi objek dalam biologi molekular meliputi dua kelompok besar yaitu : *organisme selular, dan organisme nonselular.*

Kegiatan Pembelajaran 1: Pengenalan Biomolekuler

KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa memiliki pengertian dan pemahaman mengenai Biomolekuler.
2. Mahasiswa mampu menjelaskan pembentukan Biomolekuler.

URAIAN MATERI

Istilah biologi molekular pertama kali dikemukakan oleh William Astbury pada tahun 1945. Pengertian biologi molekular pada saat ini merupakan ilmu yang mempelajari fungsi dan organisasi jasad hidup (organisme) ditinjau dari struktur dan regulasi molekular unsur atau komponen penyusunnya (Yuwono, 2007). Biologi Molekuler juga merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari hubungan antara struktur dan fungsi molekul-molekul hayati serta kontribusi hubungan tersebut terhadap pelaksanaan dan pengendalian berbagai proses biokimia. Secara lebih ringkas dapat dikatakan bahwa Biologi Molekuler mempelajari dasar-dasar molekuler setiap fenomena hayati. Oleh karena itu, materi kajian utama di dalam ilmu ini adalah makromolekul hayati, khususnya asam nukleat, serta proses pemeliharaan, transmisi, dan ekspresi informasi hayati yang meliputi replikasi, transkripsi, dan translasi. Perkembangan ilmu biologi molekular tidak dapat dipisahkan dengan berbagai macam disiplin ilmu-ilmu yang lain, seperti biologi sel, genetika, biokimia, kimia organik, dan biofisika. Pada dasarnya ilmu-ilmu tersebut mempelajari satu subjek yang sama yaitu makhluk hidup, namun dengan pendekatan dan sudut pandang yang berbeda. Makhluk hidup yang menjadi objek dalam biologi molekular meliputi dua kelompok besar yaitu : *organisme selular, dan organisme nonselular*. Organisme selular tersusun atas satuan atau unit yang disebut sel. Sel mempunyai komponen subselular dan organel yang terorganisasi dalam satu-kesatuan yang holistik. Contoh dari organisme seluler meliputi bakteri, jamur, tumbuhan, hewan, dan manusia. Sementara organisme nonselular meliputi prion, viroid, dan virus.

Dalam mempelajari biologi molekular, pada hakikatnya akan berkaitan dengan analisis makromolekul. Analisis makromolekul tersebut dapat dilakukan dengan berdasarkan atas reaksi atau dengan mempelajari struktur fisiknya. Beberapa metode yang digunakan dalam studi biologi molekular antara lain penggunaan radioisotop, sentrifugasi, dan elektroforesis.

1. Radioisotop

Isotop adalah elemen-elemen kimia yang mempunyai jumlah proton yang sama di dalam inti atomnya, tetapi massa atomnya (jumlah proton dan neutron) berbeda. Beberapa isotop bersifat labil dan mengalami peluruhan secara spontan yang kadang-kadang diikuti oleh penyebaran radiasi elektromagnetik. Atom-atom yang memiliki sifat demikian dinamakan sebagai radioisotop. Penggunaan radioisotop untuk mendeteksi hasil suatu reaksi kimia terdiri dari autoradiografi dan penggunaan alat seperti Geiger-Muller counter atau scintillation counter.

2. Sentrifugasi

Sentrifugasi digunakan untuk fraksionasi sel atau pemisahan bagian-bagian sel atau organel dan juga pemisahan molekuler. Prinsip sentrifugasi berdasarkan atas fenomena bahwa partikel yang tersuspensi di dalam suatu wadah (tabung) akan mengendap ke dasar wadah karena pengaruh gravitasi. Laju pengendapan akan dipercepat dengan alat sentrifuge dengan cara diputar dengan kecepatan tinggi.

3. Elektroforesis

Elektroforesis merupakan suatu metode pemisahan molekular selular berdasarkan ukurannya dengan menggunakan medan listrik yang dialirkan pada suatu medium yang mengandung sampel yang akan dipisahkan. Teknik ini dapat digunakan untuk menganalisis DNA, RNA, maupun protein.

Sejarah dan Perkembangan Biomolekuler

Biologi Molekuler merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari hubungan antara struktur dan fungsi molekul-molekul hayati serta kontribusi hubungan tersebut terhadap pelaksanaan dan pengendalian berbagai proses biokimia. Secara lebih ringkas dapat dikatakan bahwa Biologi Molekuler mempelajari dasar-dasar molekuler setiap fenomena hayati.

Meskipun sebagai cabang ilmu pengetahuan tergolong relatif masih baru, Biologi Molekuler telah mengalami perkembangan yang sangat pesat semenjak tiga dasawarsa yang lalu. Kebanyakan dari kemajuan-kemajuan itu pada awalnya adalah berkat kerja yang baik para

peneliti yang memberi perhatian pada jasad renik. Menurut Francois Jacob dan James D. Watson penemuan sukses di tahun 1950-an dan 960-an yang dapat digunakan dalam mempelajari sel dan organ pada organisme tingkat tinggi adalah berupa :

1. Penemuan struktur DNA
2. Peranan RNA (sintesis protein)
3. Kode genetic
4. Cara pengaturan gen pada bakteri

Telah diadakan pendekatan molekuler dalam biologi dan akan sangat mempengaruhi tiap disiplin ilmu dalam biologi seperti : *Histologi, Sitologi, Anatomi, Embriologi, Genetika, fisiologi, evolusi*. Perbedaannya adalah, pada saat itu para ahli biologi dalam studinya menggunakan sel-sel prokariotik, terutama suatu tipe bakteri *Eschericia coli*. Berbeda dengan waktu ini yang menggunakan sel eukariotik. Tetapi kebanyakan sifat-sifat yang menyebabkan organisme tingkat tinggi berbeda dengan bakteri sekarang sudah dapat ditunjukkan pada tingkat molekuler.

Pada akhir abad ke-19 timbul 2 teori, yaitu teori evolusi dan teori sel, yang mendorong adanya konversi dalam biologi dari masa lalu yang observasional menjadi ilmu eksperimental yang aktif. dalam teori evolusinya, Darwin dan Wallace melihat ketidaktetapan dunia hayati. Mereka mengajukan hipotesa bahwa perubahan-perubahan massa tanah, fluktuasi suhu dan hujan lokal, dan perubahan iklim jangka lama, merupakan penyebab ‘seleksi alam’. Di lingkungan selektif itu dapat muncul jenis-jenis baru, sedang jenis-jenis lama yang tidak bisa menyesuaikan diri akan mati. Pada akhir abad ke-17 ahli berkebangsaan Belanda, Anton Van Leeuwenhoek, membuat mikroskop yang pertama. Alat ini menunjukkan padanya adanya partikel-partikel kecil yang tidak dapat dilihat dengan mata biasa. Pada waktu yang hampir bersamaan, Robert Hooke mengamati unit-unit mikroskopik yang menyusun gabus, suatu jaringan mati. Ia menamakan unit-unit tersebut *sel*. Setelah mikroskop yang modern, teknik-teknik pengawetan jaringan, serta alat-alat untuk membuat irisan tipis telah ada pada awal abad ke-19 para penyelidik tidak hanya melihat bahwa jaringan disusun oleh unit-unit sel, tetapi juga bahwa sel-sel dapat membelah. Mulailah diketahui bahwa tiap sel menunjukkan kehidupan. Hingga dapat dinyatakan bahwa ada satu prinsip universal mengenai perkembangan untuk bagian-bagian dasar pada organisme, walaupun berbeda, dan prinsip ini adalah pembentukan sel-sel.

Menurut kepercayaan orang dahulu tidak ada suatu bagianpun dari organisme yang dulunya hidup. Selain itu, dulu diduga bahwa suatu bentuk primitif protoplasma, suatu “blastema primitif”, merupakan bahan asal kebanyakan organisme. Namun, teori sel sangat melemahkan pendapat ini dengan dalil organisme dapat timbul dari organisme-organisme penyusunnya. suatu kesimpulan dari teori sel adalah paling penting jika sel-sel masing-masing dapat tumbuh dan membelah, maka sel-sel itu adalah subyek yang cocok untuk studi organisme hidup. Sebelum jaman Louis Pasteur, organisme bersel satu yang diamati Leeuwenhoek dianggap timbul sebagai “generatio spontanea”. Tetapi percobaan Pasteur mempunyai bobot untuk melawan konsep tersebut. Menjelang akhir abad ke-19 teori sel diterima secara luas dan dasar biologi modern telah ada. Pada awal abad ke-19 ditemukan bahwa suatu bagian utama ekstrak yang berasal dari sel-sel tumbuhan dan hewan adalah bahan yang sangat kompleks yang menghasilkan endapan “fibrous” jika ekstrak tersebut dipanasi atau dicampur dengan asam. G.J. Mulder berkesimpulan di tahun 1838 bahwa bahan “fibrous” tersebut adalah protein. Pada tahun 1900, 16 dari 20 asam amino standard yang menjadi penyusun protein telah diketahui. Pada tahun 1865 hukum-hukum dasar pewarisan ditemukan oleh Gregor Mendel. Namun kesimpulan-kesimpulannya ini jauh lebih awal dari ilmu yang bersangkutan sehingga diabaikan begitu saja. Baru pada tahun 1900 kesimpulan-kesimpulan tersebut diterima dalam dunia ilmu pengetahuan. Adalah suatu hal yang wajar jika teori sel mengakar lebih kuat dahulu sebelum para ahli biologi memahami hubungan antara genetika Mendel dengan pembelahan sel. Setelah itu orang memalingkan perhatiannya kepada sperma dan sel telur yang persatuannya merupakan langkah pertama dalam semua pembelahan sel pada organisme tingkat tinggi.

Berkat penemuan ini selanjutnya berkembang dan diketahui proses-proses pembelahan mitosis dan meiosis. Tidak hanya berhenti disitu, para ahli biologi semakin gencar melakukan penelitian dan mendapatkan penemuan yang berguna bagi dunia ilmu pengetahuan, mulai dari inti sel dan kromosom, enzim, DNA (menetapkannya sebagai bahan genetik), struktur DNA, virus, basa nitrogen, dan banyak lagi. Sejak tahun 1975 teknik-teknik baru telah memungkinkan manusia untuk mengisolasi segmen DNA dan memurnikannya dalam jumlah besar. Pada umumnya pendekatan molekuler diterapkan pada sel-sel eukariotik.

Contoh Soal 6.1:

Telah diadakan pendekatan molekuler dalam biologi dan akan sangat mempengaruhi tiap disiplin ilmu dalam biologi seperti?

Jawab :

Histologi, Sitologi, Anatomi, Embriologi, Genetika, fisiologi, evolusi.

Contoh Soal 6.2:

Apa yang dimaksud dengan Radioisotop ?

Jawab :

Radioisotop adalah elemen-elemen kimia yang mempunyai jumlah proton yang sama di dalam inti atomnya, tetapi massa atomnya (jumlah proton dan neutron) berbeda.

Contoh Soal 6.3:

Sebutkan 3 metode yang digunakan dalam studi biologi molekuler!

Jawab :

Radioisotop, Sentrifugasi, dan Elektroforesis.

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikanlah mengenai Biomolekuler.
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil mengenai sejarah dan perkembangan Biomolekuler.

RANGKUMAN

1. Istilah biologi molekular pertama kali dikemukakan oleh William Astbury pada tahun 1945. Pengertian biologi molekular pada saat ini merupakan ilmu yang mempelajari fungsi dan organisasi jasad hidup (organisme) ditinjau dari struktur dan regulasi molekular unsur atau komponen penyusunnya (Yuwono, 2007).
2. Biologi Molekuler juga merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari hubungan antara struktur dan fungsi molekul-molekul hayati serta kontribusi hubungan tersebut terhadap pelaksanaan dan pengendalian berbagai proses biokimia. Secara lebih ringkas dapat dikatakan bahwa Biologi Molekuler mempelajari dasar-dasar molekuler setiap fenomena hayati. Oleh karena itu, materi kajian utama di dalam ilmu ini adalah makromolekul hayati, khususnya asam nukleat, serta proses pemeliharaan, transmisi, dan ekspresi informasi hayati yang meliputi replikasi, transkripsi, dan translasi.
3. Mahluk hidup yang menjadi objek dalam biologi molekular meliputi dua kelompok besar yaitu : *organisme selular, dan organisme nonselular*. Organisme selular tersusun atas satuan atau unit yang disebut sel.
4. Sementara organisme nonselular meliputi prion, viroid, dan virus.
5. Biologi Molekuler telah mengalami perkembangan yang sangat pesat semenjak tiga dasawarsa yang lalu. Kebanyakan dari kemajuan-kemajuan itu pada awalnya adalah berkat kerja yang baik para peneliti yang memberi perhatian pada jasad renik. Menurut Francois Jacob dan James D. Watson penemuan sukses di tahun 1950-an dan 960-an yang dapat digunakan dalam mempelajari sel dan organ pada organisme tingkat tinggi.
6. Telah diadakan pendekatan molekuler dalam biologi dan akan sangat mempengaruhi tiap disiplin ilmu dalam biologi seperti : *Histologi, Sitologi, Anatomi, Embriologi, Genetika, fisiologi, evolusi*.
7. Sentrifugasi digunakan untuk fraksionasi sel atau pemisahan bagian-bagian sel atau organel dan juga pemisahan molekuler. Prinsip sentrifugasi berdasarkan atas fenomena

bahwa partikel yang tersuspensi di dalam suatu wadah (tabung) akan mengendap ke dasar wadah karena pengaruh gravitasi.

EVALUASI FORMATIF 1

1. Apa yang dimaksud dengan biomolekuler ?
2. Jelaskan organisme seluler dan organisme nonseluler!
3. Sebutkan 4 penemuan yang digunakan dalam mempelajari sel dan organ pada organisme tingkat tinggi menurut Francois Jacob dan James D. Watson!
4. Organisme selular tersusun atas satuan atau unit yang disebut....
5. Yang dimaksud dengan Elektroforesis adalah.....

KUNCI JAWABAN

1. Biologi molekular merupakan ilmu yang mempelajari fungsi dan organisasi jasad hidup (organisme) ditinjau dari struktur dan regulasi molekular unsur atau komponen penyusunnya.
2. Organisme selular adalah tersusun atas satuan atau unit yang disebut sel. Sementara organisme nonselular adalah meliputi prion, viroid, dan virus.
3. 4 penemuan, yaitu :
 - a). Penemuan struktur DNA
 - b). Peranan RNA (sintesis protein)
 - c). Kode genetic
 - d). Cara pengaturan gen pada bakteri
4. Organisme selular tersusun atas satuan atau unit yang disebut sel.
5. Elektroforesis merupakan suatu metode pemisahan molekular selular berdasarkan ukurannya dengan menggunakan medan listrik yang dialirkan pada suatu medium yang mengandung sampel yang akan dipisahkan.

Lembar Kerja Praktek 1

Kegiatan Pembelajaran 2: Rekayasa Genetik

KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa mampu menjelaskan dan memahami Rekayasa Genetik.
2. Mahasiswa mampu menjelaskan pembentukan Rekayasa Genetik.

URAIAN MATERI

Pengertian Rekayasa Genetik

Rekayasa genetika atau rekombinan DNA adalah kumpulan teknik-teknik eksperimental memungkinkan peneliti untuk mengisolasi, mengidentifikasi, dan melipatgandakan suatu fragmen dari materi genetika (DNA) dalam bentuk murninya. Pemanfaatan teknik genetika di dalam bidang pertanian diharapkan dapat memberikan sumbangan, baik dalam membantu memahami mekanisme-mekanisme dasar proses metabolisme tanaman maupun dari segi aplikasi praktis seperti pengembangan tanaman-tanaman pertanian dengan sifat unggul. Yang disebut terakhir bisa berupa pengklonan dan pemindahan gen-gen penyandi sifat-sifat ekonomis penting pada tanaman, maupun pemanfaatan klon-klon DNA sebagai masker (penanda) di dalam membantu meningkatkan efisiensi seleksi dalam program pemulihan tanaman (Edi, 2014). Keunggulan rekayasa genetika adalah mampu memindahkan materi genetika dari sumber yang sangat beragam dengan ketepatan tinggi dan terkontrol dalam waktu yang lebih singkat. Melalui proses rekayasa genetika ini, telah berhasil dikembangkan berbagai organisme maupun produk yang menguntungkan bagi kehidupan manusia. Teknologi khusus yang digunakan dalam rekayasa genetika meliputi teknologi DNA Rekombinan yaitu pembentukan kombinasi materi genetik yang baru dengan cara penyisipan molekul DNA ke dalam suatu vektor sehingga memungkinkannya untuk terintegrasi dan mengalami perbanyakannya di dalam suatu sel organisme lain yang berperan sebagai sel inang (Arbianto, 1994).

Manfaat Rekayasa Genetik

Manfaat Rekayasa Genetik, sebagai berikut :

- a. Untuk mengurangi biaya dan meningkatkan penyediaan sejumlah besar bahan yang sekarang digunakan didalam pengobatan, pertanian dan industri.

- b. Untuk mengembangkan tanaman – tanaman pertanian yang bersifat unggul namun secara praktis.
- c. Untuk menukar gen dari satu organisme kepada organisme lainnya, menginduksi sel untuk membuat bahan-bahan yang sebelumnya tidak pernah dibuat.

Prinsip dan Teknik Dasar Kloning DNA

Menurut (Smith, 1990) dasar dari pengembangan teknologi DNA Rekombinan adalah ditemukannya mekanisme seksual pada bakteri yang telah dibuktikan pada tahun 1946. Konsekuensi dari mekanisme seksual adalah:

- a. Menyebabkan terbentuknya kombinasi gen-gen yang berasal dari dua sel yang berbeda.
- b. Terjadi pertukaran DNA atau gen dari satu sel ke sel yang lain. Mekanisme seksual ini tidak bersifat reproduktif atau tidak menghasilkan keturunan.

Asam nukleat yang merupakan sumber informasi genetika didalam setiap sel, adalah molekul yang bisa dimanipulasi. Ada dua macam asam nukleat yaitu asam ribonukleat. Asam ribonukleat (RNA) dan asam deoksiribonukleat (DNA). Asam nukleat adalah molekul besar berupa utas rantai yang panjang. Rantai asam nukleat disusun oleh (fragmen) DNA organisme komponen-komponen yang terdiri dari :

- a. Gula pentose
- b. Gugus fosfat (P_0^{4-2})
- c. Basa nitrogen

Menurut (Subra, 1994) transfer DNA atau perpindahan DNA ke dalam bakteri dapat melalui tiga cara, yaitu konjugasi, transformasi, dan transduksi. DNA yang masuk ke dalam sel bakteri selanjutnya dapat berintegrasi dengan DNA atau kromosom bakteri sehingga terbentuk kromosom rekombinan. Konjugasi merupakan perpindahan DNA dari satu sel (sel donor) ke dalam sel bakteri lainnya (sel resepion) melalui kontak fisik antara kedua sel. Sel donor memasukkan sebagian DNA-nya ke dalam sel resepion. Transfer DNA ini melalui pili seks yang dimiliki oleh sel donor. Sel resepion tidak memiliki pili seks. DNA dari sel resepion berpindah ke sel resipien secara replikatif sehingga setelah proses ini selesai, sel jantan tidak kehilangan DNA. Kedua sel tidak mengalami peningkatan jumlah sel dan tidak dihasilkan sel

anak. Oleh karena itu, proses konjugasi disebut juga sebagai proses atau mekanisme seksual yang tidak reproduktif. Transformasi merupakan pengambilan DNA oleh bakteri dari lingkungan di sekelilingnya. DNA yang berada di sekitar bakteri (DNA asing) dapat berupa potongan DNA atau fragmen DNA yang berasal dari sel bakteri yang lain atau organisme yang lain. Masuknya DNA dari lingkungan ke dalam sel bakteri ini dapat terjadi secara alami. Pada tahun 1928 ditemukan strain bakteri yang tidak virulen dapat berubah sifatnya menjadi virulen disebabkan adanya strain yang tidak virulen dicampur dengan sel-sel bakteri strain virulen yang telah dimatikan. Tahun 1944 ditemukan bahwa perubahan sifat atau transformasi dari bakteri yang tidak virulen menjadi virulen disebabkan oleh adanya DNA dari sel bakteri strain virulen yang masuk ke dalam bakteri strain yang tidak virulen. Transduksi adalah cara pemindahan DNA dari satu sel ke dalam sel lainnya melalui perantaraan bakteri fage. Beberapa jenis virus berkembang biak di dalam sel bakteri. Virus-virus yang inangnya adalah bakteri sering disebut bakteriofag atau fage. Ketika virus menginfeksi bakteri, fage memasukkan DNA-nya kedalam sel bakteri. DNA tersebut kemudian akan bereplikasi di dalam sel bakteri atau berintegrasi dengan kromosom bakteri. DNA fage yang dikemas ketika membentuk partikel fage baru akan membawa sebagian DNA bakteri yang menjadi inangnya. Selanjutnya jika fage tersebut menginfeksi bakteri yang lain, maka fage akan memasukkan DNA-nya yang sebagian mengandung DNA sel inang sebelumnya. Jadi, secara alami fage memindahkan DNA dari satu sel bakteri ke bakteri yang lain. Unsur-unsur yang esensial diperlukan dalam kloning DNA adalah :

- a. Enzim retraksi (enzim pemotong DNA)
- b. Kloning vector (pembawa)
- c. Enzim ligase yang berfungsi menyambung rantai DNA

Adapun proses-proses dasar dalam cloning DNA meliputi :

- a. Pemotongan DNA (DNA organisme yang diteliti dan DNA vektor).
- b. Penyambungan potongan-potongan (fragmen) DNA organisme dengan DNA vector menggunakan enzim ligase.

- c. Transformasi rekombinasi DNA (vector + DNA sisipan) kedalam sel bakteri Escherichia coli.
- d. Seleksi (Screening) untuk mendapatkan klon DNA yang diinginkan.

Perangkat Teknologi DNA Rekombinan

Adapun perangkat yang digunakan dalam teknik DNA rekombinan diantaranya enzim restriksi untuk memotong DNA, enzim ligase untuk menyambung DNA, vektor untuk menyambung dan mengklonkan gen di dalam sel hidup dimana vektor yang sering digunakan diantaranya plasmid dan bakteriofag, pustaka genom untuk menyimpan gen atau fragmen DNA yang telah diklonkan, serta enzim transkripsi balik untuk membuat DNA berdasarkan RNA (cDNA).

Dampak dari Penerapan Rekayasa Genetika meskipun terlihat begitu besar memberikan manfaat dalam berbagai bidang kehidupan manusia yang tentunya memberikan dampak positif bagi kesejahteraan umat manusia, produk teknologi DNA rekombinan (organisme trans genik beserta produk yang dihasilkannya) telah memicu sejumlah perdebatan yang menarik sekaligus kontroversial apabila ditinjau dari berbagai sudut pandang. Adapun kontroversial pemanfaatan produk rekayasa genetika antara lain dapat dilihat dari aspek sosial, ekonomi, kesehatan, dan lingkungan.

- a. Aspek agama

Penggunaan gen yang berasal dari babi untuk memproduksi bahan makanan dengan sendirinya akan menimbulkan kekhawatiran di kalangan pemeluk agama Islam. Demikian pula penggunaan gen dari hewan dalam rangka meningkatkan produksi bahan makanan akan menimbulkan kekhawatiran bagi kaum vegetarian, yang mempunyai keyakinan tidak boleh mengonsumsi produk hewani. Sementara itu, kloning manusia, baik parsial (hanya organ-organ tertentu) maupun seutuhnya, apabila telah berhasil menjadi kenyataan akan mengundang kontroversial, baik dari segi agama maupun nilai-nilai moral kemanusiaan universal. Demikian juga, xenotransplantasi (transplantasi organ hewan ke tubuh manusia) serta kloning stem cell dari embrio manusia untuk kepentingan medis juga dapat dinilai sebagai bentuk pelanggaran terhadap norma agama.

b. Aspek etika dan estetika

Penggunaan bakteri *E. coli* sebagai sel inang bagi gen tertentu yang akan diekspresikan produknya dalam skala industri, misalnya industri pangan, akan terasa menjijikkan bagi sebagian masyarakat yang hendak mengonsumsi pangan tersebut. Hal ini karena *E. coli* merupakan bakteri yang secara alami menghuni kolon manusia sehingga pada umumnya diisolasi dari tinja manusia.

c. Aspek ekonomi

Berbagai komoditas pertanian hasil rekayasa genetika telah memberikan ancaman persaingan serius terhadap komoditas serupa yang dihasilkan secara konvensional. Penggunaan tebu transgenik mampu menghasilkan gula dengan derajat kemanisan jauh lebih tinggi daripada gula dari tebu atau bit biasa. Hal ini jelas menimbulkan kekhawatiran bagi masa depan pabrik-pabrik gula yang menggunakan bahan alami. Begitu juga, produksi minyak goreng canola dari tanaman rapeseeds transgenik dapat berpuluhan kali lipat bila dibandingkan dengan produksi dari kelapa atau kelapa sawit sehingga mengancam eksistensi industri minyak goreng konvensional. Di bidang peternakan, enzim yang dihasilkan oleh organisme transgenik dapat memberikan kandungan protein hewani yang lebih tinggi pada pakan ternak sehingga mengancam keberadaan pabrik-pabrik tepung ikan, tepung daging, dan tepung tulang.

d. Aspek kesehatan

Dengan terjadinya transfer genetik di dalam tubuh organisme trans genik akan muncul bahan kimia baru yang berpotensi menimbulkan pengaruh toksisitas pada bahan pangan. Sebagai contoh, transfer gen tertentu dari ikan ke dalam tomat, yang tidak pernah berlangsung secara alami, berpotensi menimbulkan risiko toksisitas yang membahayakan kesehatan. Rekayasa genetika bahan pangan dikhawatirkan dapat mengintroduksi alergen atau toksin baru yang semula tidak pernah dijumpai pada bahan pangan konvensional. Di antara kedelai trans genik, misalnya, pernah dilaporkan adanya kasus reaksi alergi yang serius. Begitu pula, pernah ditemukan kontaminan toksik dari bakteri transgenik yang digunakan untuk menghasilkan pelengkap makanan (food supplement) triptofan. Kemungkinan timbulnya risiko yang sebelumnya tidak pernah

terbayangkan terkait dengan akumulasi hasil metabolisme tanaman, hewan, atau mikroorganisme yang dapat memberikan kontribusi toksin, alergen, dan bahaya genetik lainnya di dalam pangan manusia. Beberapa organisme transgenik telah ditarik dari peredaran karena terjadinya peningkatan kadar bahan toksik. Kentang Lenape (Amerika Serikat dan Kanada) dan kentang Magnum Bonum (Swedia) diketahui mempunyai kadar glikoalkaloid yang tinggi di dalam umbinya. Demikian pula, tanaman seleri transgenik (Amerika Serikat) yang resisten terhadap serangga ternyata memiliki kadar psoralen, suatu karsinogen, yang tinggi. WHO pada tahun 1996 menyatakan bahwa munculnya berbagai jenis bahan kimia baru, baik yang terdapat di dalam organisme transgenik maupun produknya, berpotensi menimbulkan penyakit baru atau pun menjadi faktor pemicu bagi penyakit lain. Sebagai contoh, gen *aad* yang terdapat di dalam kapas trans genik dapat berpindah ke bakteri penyebab kencing nanah *Neisseria gonorrhoeae* (GO). Akibatnya, bakteri ini menjadi kebal terhadap antibiotik streptomisin dan spektinomisin. Padahal, selama ini hanya dua macam antibiotik itulah yang dapat mematikan bakteri tersebut. Oleh karena itu, penyakit GO dikhawatirkan tidak dapat diobati lagi dengan adanya kapas trans genik. Dianjurkan pada wanita penderita GO untuk tidak memakai pembalut dari bahan kapas trans genik. Contoh lainnya adalah karet transgenik yang diketahui menghasilkan lateks dengan kadar protein tinggi sehingga apabila digunakan dalam pembuatan sarung tangan dan kondom, dapat diperoleh kualitas yang sangat baik. Namun, di Amerika Serikat pada tahun 1999 dilaporkan ada sekitar 20 juta penderita alergi akibat pemakaian sarung tangan dan kondom dari bahan karet transgenik. Selain pada manusia, organisme transgenik juga diketahui dapat menimbulkan penyakit pada hewan. *A. Putzai* di Inggris pada tahun 1998 melaporkan bahwa tikus percobaan yang diberi pakan kentang transgenik memperlihatkan gejala kekerdilan dan imunodepresi. Fenomena yang serupa dijumpai pada ternak unggas di Indonesia, yang diberi pakan jagung pipil dan bungkil kedelai impor. Jagung dan bungkil kedelai tersebut diimpor dari negara-negara yang telah mengembangkan berbagai tanaman transgenik sehingga diduga kuat bahwa kedua tanaman tersebut merupakan tanaman transgenik.

e. Aspek lingkungan

Penggunaan tembakau transgenik telah mempus kebanggaan Indonesia akan tembakau Deli yang telah ditanam sejak tahun 1864. Tidak hanya plasma nutfah tanaman, plasma nutfah hewan pun mengalami ancaman erosi serupa. Sebagai contoh, dikembangkannya tanaman transgenik yang mempunyai gen dengan efek pestisida, misalnya jagung Bt, ternyata dapat menyebabkan kematian larva spesies kupu-kupu raja (*Danaus plexippus*) sehingga dikhawatirkan akan menimbulkan gangguan keseimbangan ekosistem akibat musnahnya plasma nutfah kupu-kupu tersebut. Hal ini terjadi karena gen resisten pestisida yang terdapat di dalam jagung dapat dipindahkan kepada gulma milkweed (*Asclezia curassavica*) yang berada pada jarak hingga 60 m darinya. Daun gulma ini merupakan pakan bagi larva kupu-kupu raja sehingga larva kupu-kupu raja yang memakan daun gulma milkweed yang telah kemasukan gen resisten pestisida tersebut akan mengalami kematian. Dengan demikian, telah terjadi kematian organisme nontarget, yang cepat atau lambat dapat memberikan ancaman bagi eksistensi.

Kaitan Biologi Molekular dengan Ilmu Lain

Para peneliti biologi molekular menggunakan teknik-teknik khusus yang khas biologi molekular, namun kini semakin memadukan teknik-teknik tersebut dengan teknik dan gagasan-gagasan dari genetika dan biokimia. Tidak terdapat lagi garis tegas yang memisahkan disiplin-disiplin ilmu ini seperti sebelumnya. Secara umum keterkaitan bidang- bidang tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:

- a) Biokimia telaah zat-zat kimia dan proses-proses vital yang berlangsung pada makhluk hidup.
- b) Genetika telaah atas efek perbedaan genetik pada makhluk hidup (misalnya telaah mengenai mutan).
- c) Biologi molekular telaah dalam skala molekul atas proses replikasi, transkripsi, dan translasi bahan genetik.

Telah diadakan pendekatan molekuler dalam biologi dan akan sangat mempengaruhi tiap disiplin ilmu dalam biologi seperti :

a. *Histologi* :

Bidang biologi yang mempelajari tentang struktur jaringan secara detail menggunakan mikroskop pada sediaan jaringan yang dipotong tipis. Histologi dapat juga disebut sebagai ilmu anatomi mikroskopis.

b. *Sitologi* :

ilmu yang mempelajari tentang sel. Pemeriksaan sitologi yang sering digunakan untuk mendeteksi kanker payudara adalah dengan cairan antara selaput pembungkus paru (cairan pleura).

c. *Anatomi* :

cabang dari biologi yang berhubungan dengan struktur dan organisasi dari makhluk hidup.

d. *Embriologi*:

cabang ilmu yang mempelajari perkembangan embrio dalam rahim ibu.

e. *Genetika* :

cabang biologi yang mempelajari pewarisan sifat pada organisme maupun suborganisme (seperti virus dan prion).

f. *Fisiologi* :

turunan biologi yang mempelajari bagaimana kehidupan berfungsi secara fisik dan kimiawi.

g. *Evolusi* :

ilmu yang mempelajari perubaan-perubahan pada makhluk hidup dalam jangka waktu yang sangat lama.

Semakin banyak bidang biologi lainnya yang memfokuskan diri pada molekul, baik secara langsung mempelajari interaksi molekular dalam bidang mereka sendiri seperti pada biologi sel dan biologi perkembangan, maupun secara tidak langsung (misalnya dengan menggunakan teknik biologi molekular untuk menyimpulkan ciri-ciri historis populasi atau spesies) seperti pada genetika populasi dan filogenetika.

Contoh Soal 6.4:

Apa Keunggulan rekayasa genetika?

Jawaban :

Keunggulan rekayasa genetika adalah mampu memindahkan materi genetika dari sumber yang sangat beragam dengan ketepatan tinggi dan terkontrol dalam waktu yang lebih singkat.

Contoh Soal 6.5.:

Asam nukleat yang merupakan sumber informasi genetika didalam setiap sel adalah....

Jawaban :

Asam nukleat yang merupakan sumber informasi genetika didalam setiap sel, adalah molekul yang bisa dimanipulasi.

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikanlah tentang Rekayasa Genetik.
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil mengenai DNA dalam Rekayasa Genetik.

RANGKUMAN

1. Rekayasa genetika atau rekombinan DNA adalah kumpulan teknik-teknik eksperimental memungkinkan peneliti untuk mengisolasi, mengidentifikasi, dan melipatgandakan suatu fragmen dari materi genetika (DNA) dalam bentuk murninya.
2. Pemanfaatan teknik genetika di dalam bidang pertanian diharapkan dapat memberikan sumbangan, baik dalam membantu memahami mekanisme-mekanisme dasar proses metabolisme tanaman maupun dari segi aplikasi praktis seperti pengembangan tanaman-tanaman pertanian dengan sifat unggul .

3. Keunggulan rekayasa genetika adalah mampu memindahkan materi genetika dari sumber yang sangat beragam dengan ketepatan tinggi dan terkontrol dalam waktu yang lebih singkat.
4. Teknologi khusus yang digunakan dalam rekayasa genetika meliputi teknologi DNA Rekombinan yaitu pembentukan kombinasi materi genetik yang baru dengan cara penyisipan molekul DNA ke dalam suatu vektor sehingga memungkinkannya untuk terintegrasi dan mengalami perbanyakannya di dalam suatu sel organisme lain yang berperan sebagai sel inang.
5. Manfaat Rekayasa Genetik, sebagai berikut :
 - a. Untuk mengurangi biaya dan meningkatkan penyediaan sejumlah besar bahan yang sekarang digunakan didalam pengobatan, pertanian dan industri.
 - b. Untuk mengembangkan tanaman – tanaman pertanian yang bersifat unggul namun secara praktis.
 - c. Untuk menukar gen dari satu organisme kepada organisme lainnya, menginduksi sel untuk membuat bahan-bahan yang sebelumnya tidak pernah dibuat.
6. Asam nukleat yang merupakan sumber informasi genetika didalam setiap sel, adalah molekul yang bisa dimanipulasi. Ada dua macam asam nukleat yaitu asam ribonukleat. Asam ribonukleat (RNA) dan asam deoksiribonukleat (DNA). Asam nukleat adalah molekul besar berupa utas rantai yang panjang. Rantai asam nukleat disusun oleh (fragmen) DNA organisme komponen-komponen yang terdiri dari :
 - a. Gula pentose
 - b. Gugus fosfat (PO^{4-2})
 - c. Basa nitrogen
7. Menurut (Subra, 1994) transfer DNA atau perpindahan DNA ke dalam bakteri dapat melalui tiga cara, yaitu konjugasi, transformasi, dan transduksi. DNA yang masuk ke dalam sel bakteri selanjutnya dapat berintegrasi dengan DNA atau kromosom bakteri sehingga terbentuk kromosom rekombinan.
8. Konjugasi merupakan perpindahan DNA dari satu sel (sel donor) ke dalam sel bakteri lainnya (sel resepioner) melalui kontak fisik antara kedua sel.
9. Transformasi merupakan pengambilan DNA oleh bakteri dari lingkungan di sekelilingnya.

10. Transduksi adalah cara pemindahan DNA dari satu sel ke dalam sel lainnya melalui perantaraan bakteriofage.
11. Unsur-unsur yang esensial diperlukan dalam kloning DNA adalah :
 - a. Enzim retraksi (enzim pemotong DNA)
 - b. Kloning vector (pembawa)
 - c. Enzim ligase yang berfungsi menyambung rantai DNA
12. Adapun proses-proses dasar dalam cloning DNA meliputi :
 - a. Pemotongan DNA (DNA organisme yang diteliti dan DNA vektor).
 - b. Penyambungan potongan-potongan (fragmen) DNA organisme dengan DNA vector menggunakan enzim ligase.
 - c. Transformasi rekombinasi DNA (vector + DNA sisipan) kedalam sel bakteri *Eschericia coli*.
 - d. Seleksi (Screening) untuk mendapatkan klon DNA yang diinginkan.
13. Para peneliti biologi molekular menggunakan teknik-teknik khusus yang khas biologi molekular, namun kini semakin memadukan teknik-teknik tersebut dengan teknik dan gagasan-gagasan dari genetika dan biokimia.
14. Secara umum keterkaitan bidang-bidang tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:
 - a. Biokimia telaah zat-zat kimia dan proses-proses vital yang berlangsung pada makhluk hidup.
 - b. Genetika telaah atas efek perbedaan genetik pada makhluk hidup (misalnya telaah mengenai mutan).
 - c. Biologi molekular telaah dalam skala molekul atas proses replikasi, transkripsi, dan translasi bahan genetik.
15. Telah diadakan pendekatan molekuler dalam biologi dan akan sangat mempengaruhi tiap disiplin ilmu dalam biologi seperti :
 - a. *Histologi* :

Bidang biologi yang mempelajari tentang struktur jaringan secara detail menggunakan mikroskop pada sediaan jaringan yang dipotong tipis. Histologi dapat juga disebut sebagai ilmu anatomi mikroskopis.

b. Sitologi :

ilmu yang mempelajari tentang sel. Pemeriksaan sitologi yang sering digunakan untuk mendeteksi kanker payudara adalah dengan cairan antara selaput pembungkus paru (cairan pleura).

c. Anatomi :

cabang dari biologi yang berhubungan dengan struktur dan organisasi dari makhluk hidup.

d. Embriologi:

cabang ilmu yang mempelajari perkembangan embrio dalam rahim ibu.

e. Genetika :

cabang biologi yang mempelajari pewarisan sifat pada organisme maupun suborganisme (seperti virus dan prion).

f. Fisiologi :

turunan biologi yang mempelajari bagaimana kehidupan berfungsi secara fisik dan kimiawi.

g. Evolusi :

ilmu yang mempelajari perubaan-perubahan pada makhluk hidup dalam jangka waktu yang sangat lama.

EVALUASI FORMATIF 2

1. Tuliskanlah proses-proses dasar dalam cloning DNA!
2. Apa yang dimaksud dengan konjugasi ?
3. Sebutkan komponen-komponen yang disusun oleh Rantai asam nukleat!
4. Yang dimaksud dengan Rekayasa genetik adalah....
5. Sebutkan manfaat dari Rekayasa Genetik!

KUNCI JAWABAN

1. proses-proses dasar dalam cloning DNA meliputi :
 - a. Pemotongan DNA (DNA organisme yang diteliti dan DNA vektor).
 - b. Penyambungan potongan-potongan (fragmen) Dna organisme dengan DNA vector menggunakan enzim ligase.

- c. Transformasi rekombinasi DNA (vector + DNA sisipan) kedalam sel bakteri *Eschericia coli*.
- d. Seleksi (Screening) untuk mendapatkan klon DNA yang diinginkan.
2. Konjugasi merupakan perpindahan DNA dari satu sel (sel donor) ke dalam sel bakteri lainnya (sel resepimen) melalui kontak fisik antara kedua sel.
3. Rantai asam nukleat disusun oleh (fragmen) DNA organisme komponen-komponen yang terdiri dari :
 - a. Gula pentose
 - b. Gugus fosfat (P_0^{4-2})
 - c. Basa nitrogen
4. Rekayasa genetika atau rekombinan DNA adalah kumpulan teknik-teknik eksperimental memungkinkan peneliti untuk mengisolasi, mengidentifikasi, dan melipatgandakan suatu fragmen dari materi genetika (DNA) dalam bentuk murninya.
5. Manfaat Rekayasa Genetik, sebagai berikut :
 - a. Untuk mengurangi biaya dan meningkatkan penyediaan sejumlah besar bahan yang sekarang digunakan didalam pengobatan, pertanian dan industri.
 - b. Untuk mengembangkan tanaman – tanaman pertanian yang bersifat unggul namun secara praktis.
 - c. Untuk menukar gen dari satu organisme kepada organisme lainnya, menginduksi sel untuk membuat bahan-bahan yang sebelumnya tidak pernah dibuat.

Lembar Kerja Praktek 2

Kegiatan Pembelajaran 3: Alat-alat dan Struktur Biomolekuler

KEMAMPUAN YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa mampu mengenal alat-alat dan struktur biomolekuler.
2. Mahasiswa mampu menjelaskan fungsi alat-alat dan struktur biomolekuler.

URAIAN MATERI

Alat-alat Biomolekuler

Mengenal alat-alat yang digunakan dalam biologi molekuler diantaranya untuk isolasi DNA, PCR dan elektroforesis. Alat-alat tersebut adalah Thermocycler (PCR machine), Elektroforesis horisontal, Elektroforesis vertical, Gel document, Mikropipet, Sentrifuge, Spektrofotometer dan Transluminator UV. Alat-alat ini merupakan alat utama yang digunakan dalam bidang molekuler. Setiap alat memiliki fungsi, dan prinsip kerja yang berbeda yaitu sebagai berikut :

1. Mesin PCR

Prinsip kerja :

Membentuk cetakan DNA secara berulang kali dengan menggunakan prosedur dan waktu tertentu. PCR menggunakan teknik amplifikasi (perbanyak) secara spesifik pada suatu segmen DNA secara *in vitro* dengan menggunakan DNA polymerase, cetakan, DNA genom, dan primer oligonukleotida yang akan menempel pada segmen yang akan diamplifikasi. Proses PCR ada tiga tahapan yaitu Denaturasi, Anneling dan Ekstansi.

Fungsi :

- Amplifikasi urutan nukleotida
- Menentukan kondisi urutan nukleotida dari suatu DNA yang mengalami mutasi



Gambar 6.1 Mesin PCR

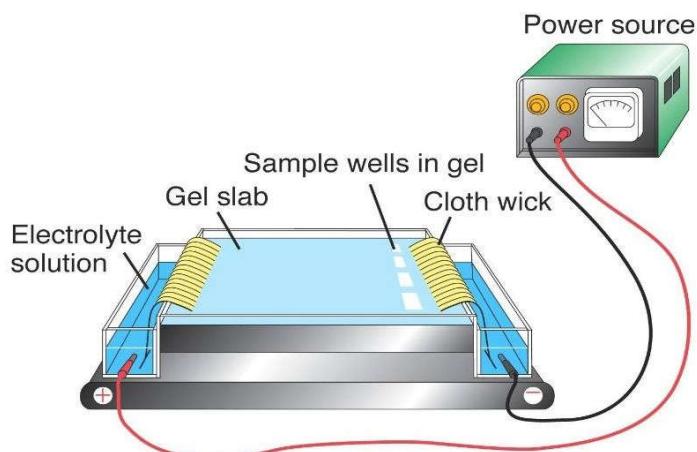
2. Elektroforesis

Prinsip kerja :

Berdasarkan pergerakan partikel-partikel bermuatan negatif dalam hal ini DNA yang bergerak menuju kutub positif sedangkan partikel-partikel bermuatan positif akan bergerak menuju kutub negatif.

Fungsi :

Untuk mengukur laju perpindahan atau pergerakan partikel-partikel bermuatan dalam suatu medan listrik.



Gambar 6.2 Elektroforesis

3. Gel Document

Prinsip kerja :

Memvisualisasi gel dengan menggunakan UV transluminator dan didokumentasikan menggunakan computer yang terhubung dengan alat atau dengan menggunakan kamera.

Fungsi :

Untuk mendokumentasikan hasil elektroforesis.



Gambar 6.3 Gel Document

4. Sentrifugator

prinsip kerja :

Didasarkan pada pemisahan molekuler dari sel atau organel subseluler. Sentrifugator dapat dibedakan berdasarkan ukuran, kapasitas, dan kecepatan. *Clinical centrifuge* digunakan untuk separasi serum dan urinalisa.

Fungsi :

Untuk memutar sampel dengan kecepatan tinggi yang berukuran molekuler sehingga molekul DNA yang berukuran lebih besar akan mengendap dibawah.



Gambar 6.4 Sentrifugator

5. Mikropipet

Prinsip kerja :

Mikropipet terdiri dari ukuran 20 μl , 100 μl , 1000 μl . gunakan tip yang baru untuk setiap sampel yang berbeda untuk menghindari kontaminasi.

Fungsi :

Untuk mengambil cairan yang ukurannya sangat kecil(dalam ukuran mikro) dalam hal ini mengambil sampel DNA.



Gambar 6.5 Mikropipet

6. Spektrofotometer

Prinsip kerja :

Berdasarkan panjang gelombang untuk mengukur kuantitas dan kemurnian DNA baik rantai tunggal maupun rantai ganda.

Fungsi :

Untuk mengukur kuantitas dan kemurnian DNA

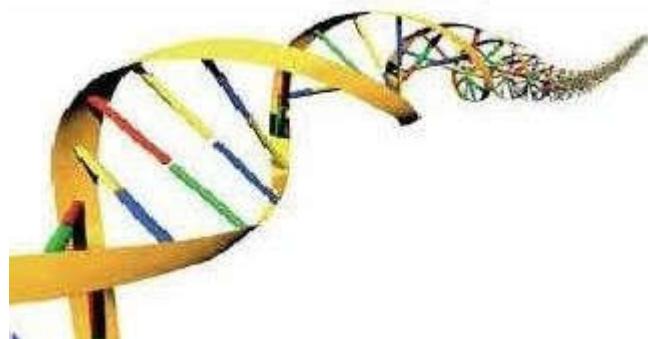


Gambar 6.6 Spektrofotometer

Struktur Biomolekul

1. Gen

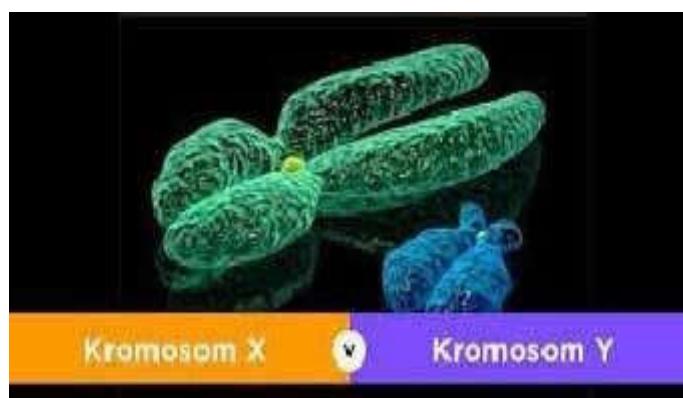
Gen adalah unit molekul DNA atau RNA dengan panjang minimum tertentu yang membawa informasi yang mengenai urutan asam amino yang lengkap suatu protein, atau yang menentukan struktur lengkap suatu molekul Rrna (rna Ribosom) atau Trna (Transfer rna) Gen diwariskan oleh satu individu kepada keturunannya melalui suatu proses reproduksi. Dengan demikian, informasi yang menjaga keutuhan bentuk dan fungsi kehidupan suatu organisme dapat terjaga. Gen terdapat berpasangan dalam satu lokus pada kromosom homolog. Masing-masing gen dalam pasangan itu disebut alel. Kedua alel dapat membawa ciri sifat yang sama atau berbeda, misalnya sifat tangkai panjang dan tangkai pendek.



Gambar 6.7 Gen

2. Kromosom

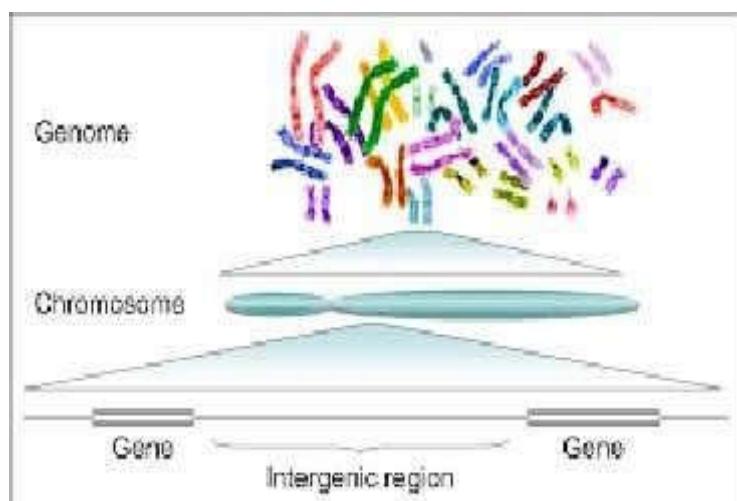
Kromosom adalah suatu struktur makromolekul yang berisi DNA dimana informasi genetik dalam sel disimpan. Kata kromosom berasal dari kata khroma yang berarti warna dan soma yang berarti badan kromosom terdiri atas dua bagian, yaitu sentromer/kinekthor yang merupakan pusat kromosom berbentuk bulat dan lengan kromosom yang mengandung kromonema dan gen berjumlah dua buah (sepasang).



Gambar 6.2 Kromosom

3. Genom

Genom adalah satu kesatuan gen yang secara alami dimiliki oleh satu sel atau virus, atau satu kesatuan gen yang secara alami dimiliki oleh satu sel atau virus, atau satu kesatuan kromosom jasad eukaryot dalam fase haploid.



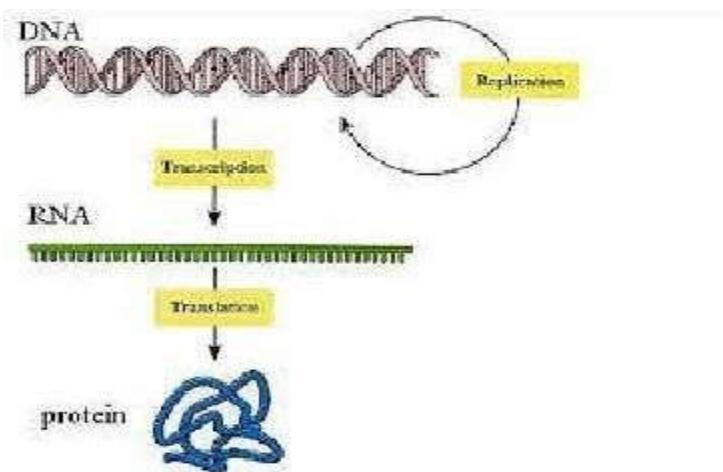
Gambar 6.3 Genom

4. Genotip

Genotip adalah sifat makhluk hidup yang tidak tampak sehingga tidak bisa diamati dengan indra.

5. Dogma Genetik

Dogme genetik adalah suatu konsep dasar hereditas yang mampu menentukan ciri spesifik suatu jenis makhluk hidup enunjukkan adanya aliran informasi bahan genetik dari DNA ke Asam Amino.



Gambar 6.5 Dogma Genetik

Contoh Soal 6.6 :

Sebutkan prinsip kerja dan fungsi dari spektrofotometer!

Jawaban :

Prinsip kerja :

Berdasarkan panjang gelombang untuk mengukur kuantitas dan kemurnian DNA baik rantai tunggal maupun rantai ganda.

Fungsi :

Untuk mengukur kuantitas dan kemurnian DNA

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikanlah tentang alat-alat dan struktur biomolekuler.
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil tentang fungsi alat-alat dan struktur biomolekuler.

RANGKUMAN**1. Mesin PCR**

Prinsip kerja :

Membentuk cetakan DNA secara berulang kali dengan menggunakan prosedur dan waktu tertentu. PCR menggunakan teknik amplifikasi (perbanyak) secara spesifik pada suatu segmen DNA secara *in vitro* dengan menggunakan DNA polymerase, cetakan, DNA genom, dan primer oligonukleotida yang akan menempel pada segmen yang akan diamplifikasi. Proses PCR ada tiga tahapan yaitu Denaturasi, Anneling dan Ekstansi.

Fungsi :

- Amplifikasi urutan nukleotida
- Menentukan kondisi urutan nukleotida dari suatu DNA yang mengalami mutasi.

2. Elektroforesis

Prinsip kerja :

Berdasarkan pergerakan partikel-partikel bermuatan negatif dalam hal ini DNA yang bergerak menuju kutub positif sedangkan partikel-partikel bermuatan positif akan bergerak menuju kutub negatif.

Fungsi :

Untuk mengukur laju perpindahan atau pergerakan partikel-partikel bermuatan dalam suatu medan listrik.

3. Gel Document

Prinsip kerja :

Memvisualisasi gel dengan menggunakan UV transluminator dan didokumentasikan menggunakan computer yang terhubung dengan alat atau dengan menggunakan kamera.

Fungsi :

Untuk mendokumentasikan hasil elektroforesis.

4. Sentrifugator

Prinsip kerja :

Didasarkan pada pemisahan molekuler dari sel atau organel subseluler. Sentrifugator dapat dibedakan berdasarkan ukuran, kapasitas, dan kecepatan. *Clinical centrifuge* digunakan untuk separasi serum dan urinalisa.

Fungsi :

Untuk memutar sampel dengan kecepatan tinggi yang berukuran molekuler sehingga molekul DNA yang berukuran lebih besar akan mengendap dibawah.

5. Mikropipet

Prinsip kerja :

Mikropipet terdiri dari ukuran 20 μl , 100 μl , 1000 μl . gunakan tip yang baru untuk setiap sampel yang berbeda untuk menghindari kontaminasi.

Fungsi :

Untuk mengambil cairan yang ukurannya sangat kecil(dalam ukuran mikro) dalam hal ini mengambil sampel DNA.

6. Spektrofotometer

Prinsip kerja :

Berdasarkan panjang gelombang untuk mengukur kuantitas dan kemurnian DNA baik rantai tunggal maupun rantai ganda.

Fungsi :

Untuk mengukur kuantitas dan kemurnian DNA

7. Gen adalah unit molekul DNA atau RNA dengan panjang minimum tertentu yang membawa informasi yang mengenai urutan asam amino yang lengkap suatu protein, atau yang menentukan struktur lengkap suatu molekul Rrna (rna Ribosom) atau Trna (Transfer rna) Gen diwariskan oleh satu individu kepada keturunannya melalui suatu proses reproduksi.

8. Kromosom adalah suatu struktur makromolekul yang berisi DNA dimana informasi genetik dalam sel disimpan. Kata kromosom berasal dari kata khroma yang berarti warna dan soma yang berarti badan kromosom terdiri atas dua bagian, yaitu sentromer/ kinekthor yang merupakan pusat kromosom berbentuk bulat dan lengan kromosom yang mengandung kromonema dan gen berjumlah dua buah (sepasang).

EVALUASI FORMATIF 3

1. apa yang dimaksud dengan kromosom?
2. Tuliskan prinsip kerja dan fungsi dari Gel Document!
3. Sebut berapa alat dalam biomolekuler!
4. Yang dimaksud dengan gen?
5. Bagaimana prinsip kerja Mikropipet!

KUNCI JAWABAN

1. Kromosom adalah suatu struktur makromolekul yang berisi DNA dimana informasi genetik dalam sel disimpan.
2. Gel Document
Prinsip kerja :
Memvisualisasi gel dengan menggunakan UV transluminator dan didokumentasikan menggunakan computer yang terhubung dengan alat atau dengan menggunakan kamera.
Fungsi :
Untuk mendokumentasikan hasil elektroforesis.
3. Alat-alat dalam Biomolekuler, yaitu :
 - a. Mesin PCR
 - b. Gel Document
 - c. Elektroforesis
 - d. Sentrifugator
 - e. Mikropipet
4. Gen adalah unit molekul DNA atau RNA dengan panjang minimum tertentu yang membawa informasi yang mengenai urutan asam amino yang lengkap suatu protein, atau yang menentukan struktur lengkap suatu molekul Rna (rna Ribosom) atau Trna (Transfer rna) Gen diwariskan oleh satu individu kepada keturunannya melalui suatu proses reproduksi.
5. Prinsip kerja Mikropipet terdiri dari ukuran 20 μ l, 100 μ l, 1000 μ l. gunakan tip yang baru untuk setiap sampel yang berbeda untuk menghindari kontaminasi.

Lembar Kerja Praktek 3

Modul 7:

Biomekanika

PENDAHULUAN

Pate dkk (1984:2) mengemukakan bahwa; "mekanika adalah suatu subdisiplin ilmu yang berhubungan dengan aplikasi dari prinsip-prinsip ilmu fisika yang mempelajari gerak pada setiap bagian dari tubuh manusia". Menurut Hay (1985:2) Biomekanika adalah ilmu yang mempelajari mengenai gaya-gaya internal dan eksternal dan bekerja pada tubuh manusia dan akibat-akibat dari gaya-gaya yang dihasilkan. Adapun menurut Herbert, Hatze dalam M.Mc Ginnis, Peter (2005) bahwasanya biomekanika adalah bidang ilmu mengenai struktur dan sistem biologi dalam pengertian metode mekanika.

Mekanika adalah salah satu cabang ilmu dari bidang ilmu fisika yang mempelajari gerakan dan perubahan bentuk suatu materi yang diakibatkan oleh gangguan mekanik yang disebut gaya. Mekanika adalah cabang ilmu yang tertua dari semua cabang ilmu dalam fisika. Biomekanika didefinisikan sebagai bidang ilmu aplikasi mekanika pada sistem biologi. Biomekanika merupakan kombinasi antara disiplin ilmu mekanika terapan dan ilmu-ilmu biologi dan fisiologi. Biomekanika menyangkut tubuh manusia dan hampir semua tubuh mahluk hidup. Dalam biomekanika prinsip-prinsip mekanika dipakai dalam penyusunan konsep, analisis, disain dan pengembangan peralatan dan sistem dalam biologi dan kedoteran.

Kegiatan Pembelajaran 1: Biomekanik Kerja

KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa memiliki pengertian biomekanika
2. Mahasiswa mampu mengetahui biomekanika dalam pekerjaan

URAIAN MATERI

A. Biomekanika

Biomekanika merupakan ilmu yang membahas aspek-aspek biomekanika dari gerakan-gerakan tubuh manusia. Biomekanika merupakan kombinasi antara keilmuan

mekanika, antropometri dan dasar ilmu kedokteran (Biologi dan fisiologi). Menurut Frankel dan Nordin, biomekanika menggunakan konsep fisika dan teknik untuk menjelaskan gerakan pada berbagai macam bagian tubuh dan gaya yang bekerja pada bagian tubuh pada aktivitas sehari-hari. Menurut Caffin dan Anderson (1984), *occupacional biomechanics* adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara dan peralatannya, lingkungan kerja dan lain-lain untuk meningkatkan performansi dan meminimisasi kemungkinan cidera.

Biomekanika dan cara kerja adalah pengaturan sikap tubuh dalam bekerja. Sikap kerja yang berbeda akan menghasilkan kekuatan yang berbeda pula dalam melakukan tugas. Dalam hal ini penelitian biomaterial mengukur kekuatan dan ketahanan fisik manusia dalam melakukan pekerjaan tertentu, dengan sikap kerja tertentu, tujuan untuk mendapatkan cara kerja yang lebih baik, dimana kekuatan/ketahanan fisik maksimum dan kemungkinan cidera minimum.

Ilmu Biomekanika membahas mengenai manusia dari segi kemampuan-kemampuannya seperti kekuatan, daya tahan, kecepatan dan ketelitian. Biomekanika didefinisikan sebagai bidang ilmu aplikasi mekanika pada sistem biologi. Biomekanika merupakan kombinasi antara disiplin ilmu mekanika terapan dan ilmu-ilmu biologi dan fisiologi. Biomekanika menyangkut tubuh manusia dan hampir semua tubuh mahluk hidup. Menurut Chaffin dkk. 2006 biomekanika adalah ilmu yang menggunakan hukum fisika dan mekanika teknik untuk mendeskripsikan gerakan pada tubuh dan memahami efek gaya dan momen yang terjadi pada tubuh kinetik.

Biomekanika sendiri dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Biostatik : Yaitu studi tentang struktur makhluk hidup yang berhubungan dengan gaya-gaya ketika mereka berinteraksi.
2. Biodinamika : yaitu Studi tentang dasar-dasar dan pembagian gerakan (berhubungan dengan gaya) yang dilakukan mahluk hidup.
3. Bienergetik : Yaitu studi tentang transformasi energi yang terjadi dalam tubuh mahluk hidup. Bienergetik terkait dengan proses biothermodinamika.

B. Manfaat Biomekanika

1. Perancangan peralatan
2. Perancangan layout kendali mesin dan stasiun kerja
3. Perancangan tempat duduk kerja
4. Acuan batas kemampuan pada material *handling*
5. Kriteria seleksi pekerja dan pelatihan

C. Penggunaan Fisika di kesehatan :

1. Faal Fisika : Untuk menentukan fungsi tubuh meliputi kesehatan dan penyakit.
 - Faal positif dan negative
 - Faal Positif : Error yang terjadi dimana penderita dinyatakan menderita suatu penyakit padahal tidak
 - Faal Negatif : Error yang terjadi dimana penderita dinyatakan tidak sakit padahal menderita suatu penyakit.

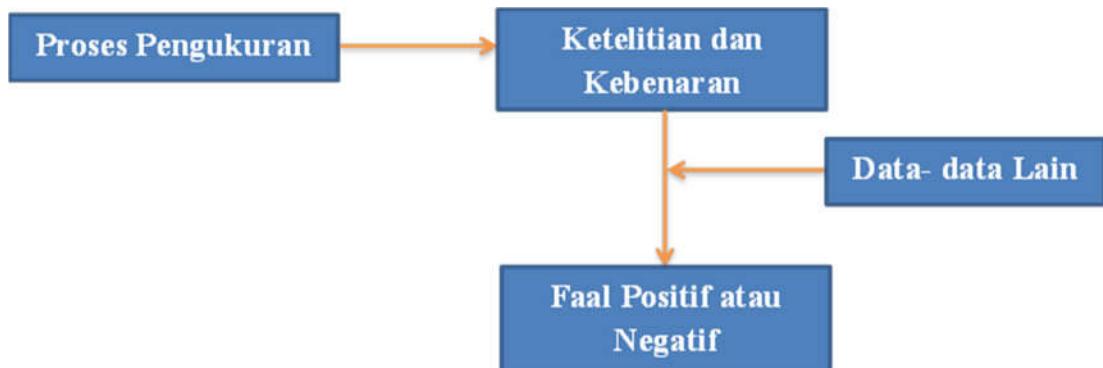
Untuk menghindari :

 - Dalam pengambilan pengukuran
 - Pengulangan pengukuran
 - Penggunaan alat yang dapat dipercaya
 - Kalibrasi terhadap alat.
2. Pengetahuan tentang benda yang digunakan dalam kesehatan seperti ultrasonik, laser, radiasi, dll.

D. Pengukuran

Membandingkan kualitas. Besaran pokok dan turunan dan satuan proses pengukuran.

1. Pengukuran berulang : Nilai pernafasan rata-rata
2. Pengukuran sekali : Potensial aksi pada sel saraf



Gambar 7.1 Skema dasar Pengukuran

E. Konsep Biomekanika

Biomekanika diklasifikasikan menjadi 2, yaitu :

1. *General Biomechanic*

General Biomechanic adalah bagian dari biomekanika yang berbicara mengenai hukum-hukum dan konsep-konsep dasar yang mempengaruhi tubuh

organik manusia baik dalam posisi diam maupun bergerak. *General Biomechanic* dibagi menjadi 2, yaitu :

- *Biostatics* adalah bagian dari biomekanika umum yang hanya menganalisis tubuh pada posisi diam atau bergerak pada garis lurus dan kecepatan seragam (*Uniform*).
- *Biodynamic* adalah bagian dari biomekanik umum yang berkaitan dengan gambaran gerakan-gerakan tubuh tanpa mempertimbangkan gaya yang terjadi (kinematik) dan gerakan yang disebabkan gaya yang bekerja dalam tubuh (kinetik).

2. *Occupational Biomechanic*

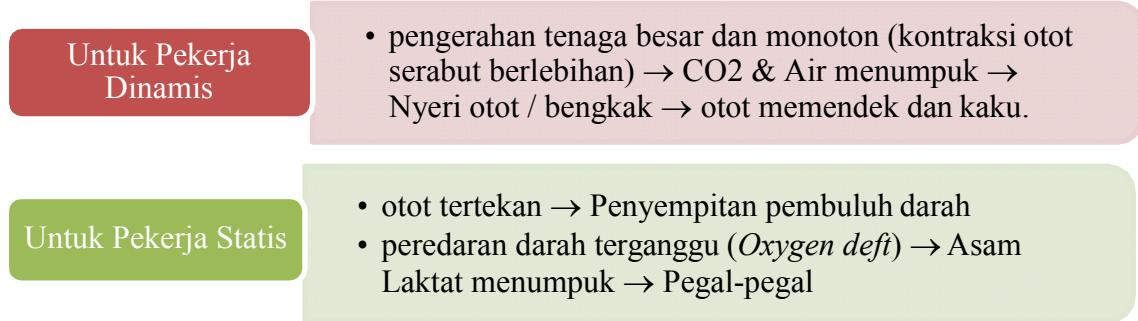
Occupational Biomechanic adalah sebagai bagian dari biomekanika terapan yang mempelajari interaksi fisik antara pekerja dengan mesin, material dan peralatan dengan tujuan untuk meminimumkan keluhan pada sistem kerangka otot agar produktifitas kerja dapat meningkat.

Dalam biomekanik ini banyak melibatkan bagian-bagian tubuh yang berkolaborasi untuk menghasilkan gerak yang akan dilakukan oleh organ tubuh yakni kolaborasi antara tulang, jaringan penghubung (*Connective Tissue*) dan otot yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

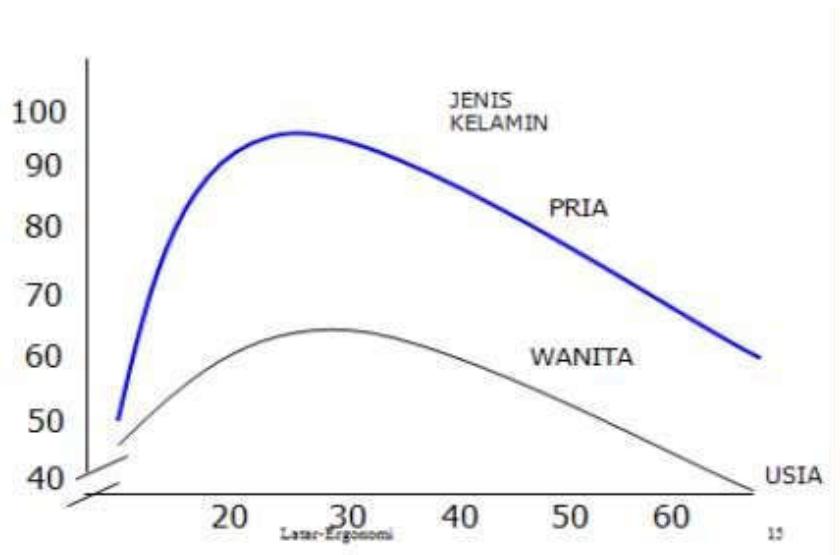


Gambar. 7.2 *Occupational Biomechanic*

- Kerja otot dinamis, yang ditandai dengan adanya proses berulang antara kontraksi dan relaksasi.
- Kerja otot statis ditandai dengan proses kontraksi yang berkepanjangan



Gambar 7.3 Pekerja Dinamis dan Pekerja Statis



Gambar Grafik 7.4 Kekuatan Otot Dihubungkan Dengan Usia Dan Jenis Kelamin

F. Kekuatan Otot

- Setiap jenis otot mempunyai kemampuan yang khas dalam menjalankan kerja biomekanik.
- Masing-masing memiliki kekuatan, kecepatan dan ketelitian geraknya sendiri.
- Kekuatan otot tergantung juga pada dimana dan kearah mana kekuatan itu dikeluarkan.
- Tergantung dari banyaknya serta.
- Kekuatan maksimum, serat otot $0.3\text{-}0.4 \text{ N/mm}^2$ ($1 \text{ KG} = 10 \text{ N}$) dari *cross section* dapat mengangkat beban 3-4 KG (30-40 N).
- Wanita dengan latihan yang sama dengan pria dapat mencapai kurang dari 30% kekuatan pria.

- Kekuatan paling besar pada saat permulaan kontraksi (*Relax*).

Dalam dunia kerja yang menjadi perhatian adalah kekuatan kerja otot. Kekuatan kerja otot bergantung pada :

- Posisi anggota tubuh yang berkeja.
- Arah gerak kerja.
- Perbedaan kekuatan antara bagian tubuh.
- Usia.
- Kecepatan dan ketelitian.
- Daya tahan jaringan tubuh terhadap beban.

G. Analisis Mekanik

1. Hukum Dasar

Hukum Newton pertama	:(Kelembaman) dipakai untuk mengukur suatu pengamatan : - Benda bersifat mempertahankan keadaan. - Semua benda / obyek akan bergerakn bila ada gaya (<i>force</i>) yang mengakibatkan pergerakan.
Hukum Newton Kedua	: F = m . a Apabila ada gaya bekerja pada suatu benda akan mengalami suatu percepatan yang arahnya sama dengan arah gaya
Hukum Newton Ketiga	: Aksi – Reaksi Untuk setiap aksi, selalu ada reaksi yang arahnya berlawanan
Massa	: Jumlah unsur suatu obyek Satuan : Kg → Besar skalar
Berat	: Jumlah unsur suatu obyek yang dipengaruhi gaya Tarik bumi / gravitasi Satuan : Kg m/s (Newton) → Besaran vektor
Gaya Gravitasi	: Gaya tarik bumi terhadap suatu benda
Pengaruh gaya gravitasi terhadap manusia	: - Berat badan - Varises - Edema tungkai - Dll
Gaya yang	: - Gaya pada tubuh manusia → seperti saat tubuh menabrak

mempengaruhi		suatu benda
tubuh manusia		<ul style="list-style-type: none"> - Gaya di dalam tubuh manusia → gaya otot mempengaruhi sirkulasi darah dan pernapasan.

Biomekanika pada Manusia

- Gaya yang bekerja pada manusia
 - Dalam keadaan Statis
 - Dalam keadaan dinamis
- Gaya pada tubuh manusia dalam keadaan statis
 - Dalam keadaan setimbang / jumlah gaya dalam segala arah ($F = 0$)
 - Sistem musculoskeletal bekerja sebagai pengumpil / pengungkit.
- Gaya pada tubuh dan didalam
 - Gaya pada tubuh → dapat kita ketahui ex menabrak meja.
 - Gaya dalam tubuh → tidak diketahui ex gaya otot.

Dasar asal mula gaya adalah gaya gravitasi, tarik – menarik antar 2 benda, misalkan berat badan, ex terjadinya varises.

2. Gaya pada Tubuh Manusia

Gaya pada tubuh ada 2 tipe : Gaya pada tubuh keadaan statis dan Gaya pada tubuh dalam keadaan dinamis.

Statis : Tubuh dalam keadaan setimbang, jumlah gaya dan momen gaya yang ada sama dengan nol. → dalam keadaan setimbang / jumlah gaya dalam segala arah ($F=0$) sistem musculoskeletal bekerja sebagai pengumpil / pengungkit.

Sistem tulang dan otot berfungsi sebagai pengumpil. Dalam tubuh manusia terdapat tiga jenis gaya :

1. Gaya gravitasi, yaitu gaya yang melalui pusat massa dari tiap segmen tubuh manusia dengan arah kebawah. Besar gayanya adalah massa dikali percepatan gravitasi ($F = m \cdot g$)
2. Gaya reaksi, yaitu gaya yang terjadi akibat beban pada segment tubuh atau berat segmen tubuh itu sendiri.
3. Gaya otot, yaitu gaya yang terjadi pada bagian sendi, baik akibat gesekan sendi atau akibat gaya pada otot yang melekat pada sendi. Gaya ini menggambarkan besarnya moment otot.

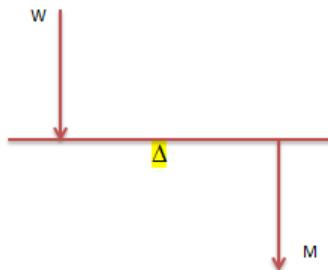
Ada 3 kelas sistem pengumpil :

a. Kelas pertama

Titik tumpuan terletak diantara gaya berat dan otot

W = Gaya berat

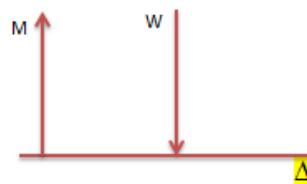
M = Gaya otot



b. Kelas Kedua

W = Gaya berat

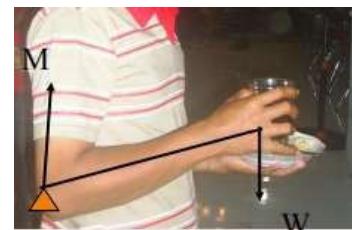
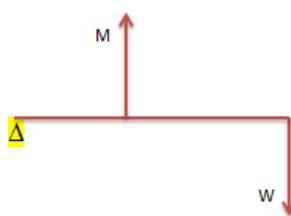
M = Gaya otot



c. Kelas Ketiga

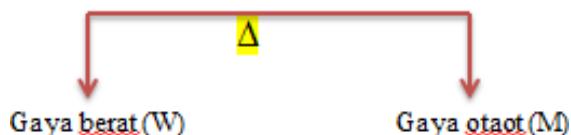
W = Gaya berat

M = Gaya otot



Contoh : Posisi tangan mengangkat beban

Keuntungan Mekanik, perbandingan antara gaya otot dan gaya berat

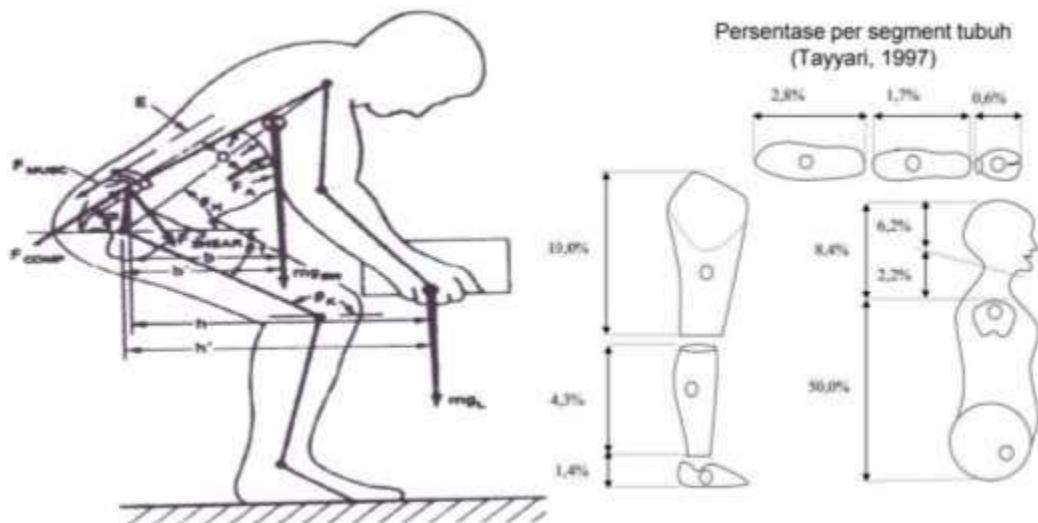


$$\text{Keuntungan Mekanik} = \frac{W}{M} = \frac{Gaya berat}{Gaya otot} \quad (7.1)$$

H. Biomekanika Daya Tahan Terhadap Beban Mekanika

- Setiap jenis jaringan mempunyai kemampuan yang khas dalam menahan beban biomekanik yang datang kepadanya. Beberapa faktornya :
 - Konstruksi sistem otot rangka
 - Sifat bahan jaringan yang bersangkutan
 - Kebiasaan / latihan
- Untuk pekerjaan mengangkat secara manual, dikembangkan **Recommended Weight Limit (RWL)** → beban angkat maksimal yang disarankan tidak dilampaui. Untuk mengurangi beban manual material handling dapat digunakan alat bantu.
- Beban mekanik yang terasa ringan tetapi membebani secara berulang dalam waktu yang panjang dapat menimbulkan gangguan-gangguan pada jaringan yang bersangkutan mulai dari yang ringan sampai yang bersifat masalah (*disorder*) pada jaringan rangka tulang tersebut.

I. Posisi Kerja



Gambar 7. 5 Posisi Kerja

Contoh Soal 7.1

Jelaskan pengertian biomekanika?

Jawaban :

Bioakustik adalah suatu perubahan mekanik terhadap zat gas, zat cair atau zat padat yang sering menimbulkan gelombang bunyi.

Contoh Soal 7.2

Sebutkan 3 bagian dari biomekanika ?

Jawaban :

- Biostatik yaitu studi tentang struktur makhluk hidup yang berhubungan dengan gaya-gaya ketika mereka berinteraksi.
- Biodinamika yaitu Studi tentang dasar-dasar dan pembagian gerakan (berhubungan dengan gaya) yang dilakukan makhluk hidup.
- Bienergetik yaitu studi tentang transformasi energi yang terjadi dalam tubuh makhluk hidup. Bienergetik terkait dengan proses biothermodinamika

Contoh Soal 7.3

Apa itu faal positive dan faal negative ?

Jawaban :

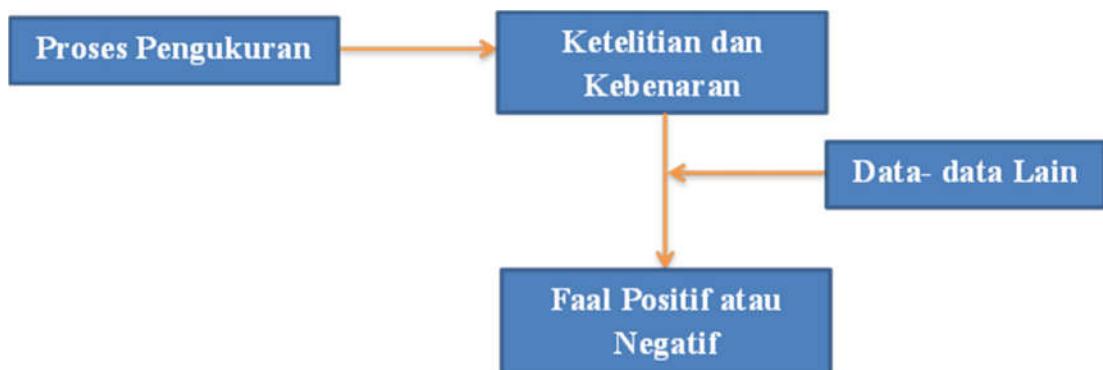
- Faal Positif : Error yang terjadi dimana penderita dinyatakan menderita suatu penyakit padahal tidak.
- Faal Negatif : Error dimana penderita dinyatakan tidak sakit padahal menderita suatu penyakit.

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikan tentang Biomekanika
2. Diskusikan dalam kelompok tentang biomekanika dalam tubuh manusi

RANGKUMAN

1. Biomekanika adalah ilmu yang menggunakan hukum-hukum fisika dan mekanika teknik untuk mendeskripsikan gerakan pada tubuh dan memahami efek gaya dan momen yang terjadi pada tubuh kinetik.
2. Biomekanika sendiri dibagi menjadi 3 yaitu :
 - Biostatik : Yaitu studi tentang struktur makhluk hidup yang berhubungan dengan gaya-gaya ketika mereka berinteraksi.
 - Biodinamika : yaitu Studi tentang dasar-dasar dan pembagian gerakan (berhubungan dengan gaya) yang dilakukan makhluk hidup.
 - Bienergetik : Yaitu studi tentang transformasi energi yang terjadi dalam tubuh makhluk hidup. Bienergetik terkait dengan proses biothermodinamika.
3. Skema pengukuran



4. *General Biomechanic* dibagi menjadi 2, yaitu :
 - *Biostatics* adalah bagian dari biomekanika umum yang hanya menganalisis tubuh pada posisi diam atau bergerak pada garis lurus dan kecepatan seragam (*Uniform*).
 - *Biodynamic* adalah bagian dari biomekanik umum yang berkaitan dengan gambaran gerakan-gerakan tubuh tanpa mempertimbangkan gaya yang terjadi (kinematik) dan gerakan yang disebabkan gaya yang bekerja dalam tubuh (kinetik).
5. Sistem tulang dan otot berfungsi sebagai pengumpil. Dalam tubuh manusia terdapat tiga jenis gaya :
 - Gaya gravitasi, yaitu gaya yang melalui pusat massa dari tiap segmen tubuh manusia dengan arah kebawah. Besar gayanya adalah massa dikali percepatan gravitasi ($F = m \cdot g$)
 - Gaya reaksi, yaitu gaya yang terjadi akibat beban pada segment tubuh atau berat segmen tubuh itu sendiri.

- Gaya otot, yaitu gaya yang terjadi pada bagian sendi, baik akibat gesekan sendi atau akibat gaya pada otot yang melekat pada sendi. Gaya ini menggambarkan besarnya moment otot.

EVALUASI FORMATIF 1

1. Sebutkan dua jenis kerja otot ?
2. Sebutkan dua gaya pada tubuh manusia dalam keadaan statis ?
3. Sebutkan 3 jenis gaya di dalam tubuh manusia ?
4. Jelaskan tahap terhadap beban mekanik ?
5. Sebutkan kekuatan otot dan kekuatan otot dalam dunia kerja ?

KUNCI JAWABAN

1. **Kerja otot Dinamis**, yang ditandai dengan adanya proses berulang antara kontraksi dan relaksasi. **Kerja otot Statis**, ditandai dengan proses kontraksi yang berkepanjangan.
2. → Dalam keadaan setimbang / jumlah gaya dalam segala arah ($F=0$)
→ Sistem musculoskeletal bekerja sebagai pengumpil atau pengungkit.
3. (-) Gaya Gravitasi, yaitu gaya yang melalui pusat massa dari tiap segmen tubuh manusia dengan arah kebawah. Besar gayanya adalah massa dikali percepatan ($F = m \cdot g$)
(-) Gaya reaksi, yaitu gaya yang terjadi akibat beban pada segment tubuh atau berat segmen tubuh itu sendiri.
(-) Gaya otot, yaitu gaya yang terjadi pada bagian sendi, baik akibat gesekan sendi atau akibat gaya pada otot yang melekat pada sendi. Gaya ini menggambarkan besarnya moment otot.
4. Beban mekanik yang terasa ringan tetapi membebani secara berulang dalam waktu yang panjang dapat menimbulkan gangguan-gangguan pada jaringan yang bersangkutan mulai dari yang ringan sampai yang bersifat masalah (*disorder*) pada jaringan rangkap tulang tersebut.
5. → Tergantung dari banyaknya serat.
→ Kekuatan maksimum, serta otot $0.3 - 0.4 \text{ N/mm}^2$ ($1\text{KG} = 10 \text{ N}$) dari *cross section* dapat mengangkat beban $3-4 \text{ KG}$ ($30 - 40 \text{ N}$).
→ Wanita dengan latihan yang sama dengan pria dapat mencapai kurang dari 30% kekuatan pria

→ Kekuatan paling besar pada saat permulaan kontraksi (*Relax*)

Kekuatan otot dalam dunia kerja yang menjadi perhatian :

→ Posisi anggota tubuh yang bekerja

→ Arah gerak kerja

→ Perbedaan kekuatan antara bagian tubuh

→ Usia

→ Kecepatan dan ketelitian

→ Daya tahan jaringan tubuh terhadap beban

Lembar Kerja Praktek 1

Kegiatan Pembelajaran 2: Biomekanika dalam Bidang Olahraga

KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa mampu menganalisis biomekanika dari sudut pandang olahraga

URAIAN MATERI

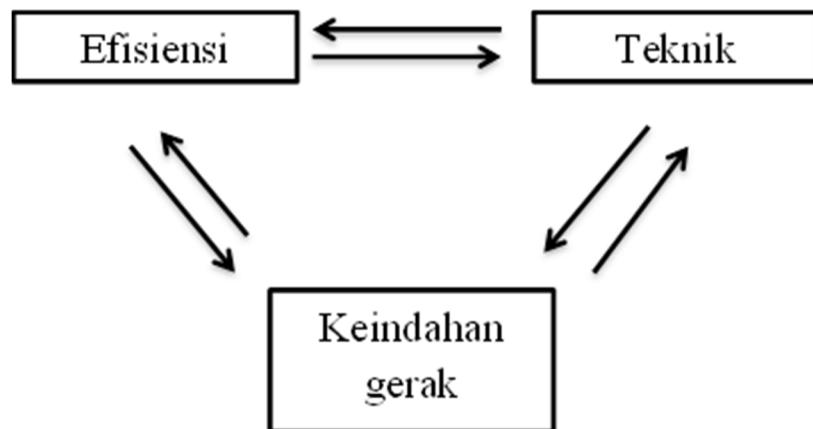
A. Peran Biomekanika dalam Olahraga

Secara umum manfaat yang didapat dalam mempelajari biomekanika olahraga adalah untuk memperbaiki teknik dengan melakukan analisis yang dilakukan untuk mencegah cidera olahraga. Jadi dua manfaat utama mempelajari biomekanika adalah memperbaiki penampilan dan mencegah cidera. Selain itu ada beberapa manfaat lain selain dua manfaat utama yang disebutkan diatas, yaitu: (1) membantu dalam proses mempelajari atau mengajarkan satu teknik tertentu, dan (2) dapat menciptakan teknik baru dalam upaya memaksimalkan prestasi yang sudah didapat. Dengan manfaat yang sudah disampaikan di atas, pencapaian prestasi yang optimal dapat diwujudkan dengan menggabungkan dengan disiplin ilmu yang lainnya dalam cakupan ilmu olahraga. Biomekanika digunakan juga oleh berbagai disiplin ilmu yang berbeda termasuk ilmu faal, biologi, *medicine*, dan mekanika. Biomekanika yaitu termasuk dalam ilmu fisika atau ilmu alam, sedangkan bentuk-bentuk parameter yang diukur adalah: (a) Gaya (*Force*); (b) Jarak (*Distance*); (c) Kecepatan (*Velocity*). Analisis biomekanika dapat mengukur karakteristik dalam suatu keterampilan atau merupakan dasa dari pelaksanaan suatu keterampilan. Menurut Crespo, et. al (2002: 20) pelatih harus memperhatikan fakta bahwa perkembangan pertumbuhan umur atlet dapat berbeda-beda, maka dalam hal ini pelatih bisa mengamati atletnya secara biomekanika. Dari penjelasan tadi maka kegunaan biomekanika bagi pelatih: (1) pengetahuan biomekanika membantu para pelatih menganalisa suatu keterampilan (2) biomekanika membantu dalam menilai teknik-teknik baru dan latihan baru, (3) biomekanika membantu memperkecil atau mencegah cidera yang di akibatkan oleh gerakan, (4) biomekanika membantu menciptakan teknik-teknik baru dalam menampilkan suatu keterampilan yang menghasilkan efektivitas yang lebih tinggi.

B. Ciri-ciri Mekanis Tubuh Manusia

Menurut Imam Hidayat (1999: 5) melalui biomekanika pelatih akan membiasakan diri untuk melakukan gerakan tenis lapangan dengan cara yang efisien. Bila gerak itu efisien maka kita dapat mengontrol dan menguasai suatu permainan dalam tenis lapangan. Gerak itu efisien bila: (a) kelompok otot yang besar bekerja lebih dahulu, (b) melakukan kegiatan tenis lapangan dengan penuh gairah, (c) mengeluarkan tenaga secara intelijen, artinya ada koordinasi yang baik, dan saat/timing yang tepat, (d) bergerak secara proporsional, artinya dilakukan dengan ekonomis dan adanya otomasi.

Sebaliknya gerakan yang tidak efisien akan menimbulkan: (a) penghamburan tenaga dan ketegangan yang berlebihan, (b) kelelahan fisik yang terlalu cepat, dan kelelahan psikis, (c) kelesuan, (d) rasa nyeri, (e) frustasi. Menurut Imam Hidayat (1999: 6) bila gerak itu efisien, dapat diasumsikan bahwa tekniknya benar, sebab teknik itu tidak lain adalah: "Kemampuan untuk memanfaatkan prinsip atau teori dalam meningkatkan keterampilan dengan cara yang efisien." Sebaliknya bila teknik itu benar dapat dipastikan bahwa gerak itu adalah efisien. Efisiensi juga erat kaitannya dengan kesempurnaan gerak dan keindahan gerak. Jadi efisiensi, teknik gerak, dan keindahan gerak mempunyai hubungan timbal balik.



Gambar 7.6 Hubungan *efisiensi*, teknik dan keindahan gerak

C. Pendekatan-pendekatan Untuk Mempelajari Gerak

Ada dua macam pendekatan yang digunakan untuk mempelajari biologi dan aspek mekanika gerak tubuh yaitu pendekatan kuantitatif dan pendekatan kualitatif. Pendekatan kuantitatif termasuk menggambarkan suatu gerak tubuh yang bagiannya dalam istilah numerik. Pengamat dengan menggunakan pendekatan kuantifikasi menjelaskan atau membuat uraian situasi yang sebenarnya. Namun tidak ekonomis bagi seorang pelatih menganalisis setiap gerak secara kuantitatif, oleh karena alat-alat

elektronik untuk menganalisis serba mahal. Menganalisis kuantitatif sangat dianjurkan. Sedangkan pendekatan kualitatif menyatakan gerak tidak menggunakan terminologi angka-angka (tanpa mengukur atau menghitung setiap bagian tubuh). Evaluasi kualitatif suatu keterampilan didasarkan pada ketepatan menggunakan suatu dalil, atau hukum dan pengaruhnya pada sebuah gerak. Dalam situasi melatih analisis gerak umumnya didasarkan atas pengamatan. Menggunakan peragaan dengan gambar hidup dan video merupakan alat yang dianjurkan untuk membantu memperbaiki proses melatih. Pelatih menggunakan film atau video untuk merekam gerakan anak asuhannya, agar kekeliruan gerak yang terjadi dapat dilihat oleh atlit pada saat masih segar sehingga mudah diingat mengenai apa yang harus diperbaiki.

D. Hakekat *Forehand Groundstroke* Tenis Lapangan

Menurut Sudiro (2008: 18) bahwa *forehand groundstroke* adalah pukulan yang dilakukan setelah bola memantul dari lapangan dengan cara posisi telapak tangan menghadap ke arah bola yang akan dipukul (menggunakan otot-otot lengan bagian depan). Dari pendapat tersebut dapat disimpulkan bahwa *pukulan forehand groundstroke* merupakan pukulan yang dilakukan dengan menggunakan raket setelah bola mantul di lapangan agar masuk ke daerah lawan dengan cara posisi telapak tangan menghadap ke arah bola yang akan dipukul. Menurut Miley (1998: 68) *the forehand shot is one of the most important strokes in tennis*. Jadi dari pendapat tersebut dapat dikatakan bahwa *pukulan forehand groundstroke* adalah pukulan yang dilakukan dengan menggunakan raket setelah bola mantul di lapangan agar masuk ke daerah lawan dengan cara posisi telapak tangan menghadap ke arah bola yang akan dipukul.

E. Karakter Servis Atas Bola Voli

Menurut Suharno HP service adalah sebagai tanda dimulainya permainan dan sebagai suatu serangan yang pertama kali bagi suatu regu. Servis merupakan sentuhan pertama dengan bola, mula-mula servis ini sebagai pukulan permulaan kemudian berkembang menjadi senjata yang ampuh untuk menyerang. Servis sebagai awal dari permainan berkembang menjadi suatu teknik yang dapat digunakan untuk menyerang. Berbagai macam cara digunakan agar bola hasil servis menjadi sulit untuk diterima oleh lawan. Cara untuk mempersulit bola service pada dasarnya dengan :

1. Kecepatan, kurve dan bolak balik jalannya bola. Untuk memperoleh yang bervariasi ditentukan oleh :
 - Keras atau pelannya pukulan

- Tinggi atau rendahnya bola
 - Membuat bola berputar atau tidak berputar dan melayang
2. Penempatan bola diarahkan kepada titik kelemahan lawan, misalnya arah depan, belakang atau samping.

Servis merupakan salah satu item dalam bola voli yang sangat urgen karena permainan akan bisa berlangsung ketika server mempu mensukseskan servisnya kedaerah lawan. Teknik dasar servis khususnya servis atas terdiri dari rangkaian gerak :

- Awalan
- Eksekusi
- Gerak lanjutan

Pertandingan Antara Teknik Dasar Servis dan Dengan Kemampuan Fisik

1. Sikap awal

Sikap awal dalam melakukan servis dalam bola voli sangat dipengaruhi oleh posisi terbaik kaki dan lemparan bola sehingga dapat dengan dijangkau oleh ayunan tangan pada saat melakukan pukulan.

2. Sikap saat memukul bola

Kualitas dari servis selain dari posisi awal diatas, juga sangat dipengeruhi oleh koordinasi mata dan tangan terhadap momentum yang tepat dalam melakukan pukulan servis. Kemudian kemampuan dalam melakukan servis juga ditentukan oleh jari-jari tangan, pergelangan tangan, lengan, bahu, dengan power yang dimilikinya.

3. Sikap dalam gerakan lanjutan

Sikap dalam gerakan lanjutan sangat ditentukan oleh kekuatan otot kaki dalam menjaga keseimbangan badan yang agak terganggu dengan adanya infeksi yang terjadi antara tangan dengan bola.

Tinjauan Anatomi Servis Bola Voli

Kemampuan mengatur arah gerak bola dan kecepatan bola sehingga sesuai dengan tujuan yang direncanakan erat dengan kualitas persepsi dan kualitas otot. Bila otot berkontraksi ia merupakan sumber gerak bagian badan. Gerak lengan akan menghasilkan tenaga gerak, tenaga gerak tersebut akan menggerakkan bola apabila lengan membetur bola.

Dalam permainan bola voli ada obyek yang dimainkan yaitu bola yang sedang melayang di udara. Bola digerakkan kesasaran tertentu dengan cara dipukul atau

ditolak. Keterampilan bola voli merupakan gabungan dari sejumlah gerak bagian-bagian badan yang merupakan gerakan fleksi, ekstensi, abduksi, adduksi dan rotasi. Gerakan ini terjadi karena ada sumber gerak yaitu persendian dan ada tenaga penggerak. Otot yang berfungsi menghasilkan tenaga gerak yaitu otot penggerak utama dan pembantu. Setiap gerakan bagian anggotas badan merupakan hasil kerja sebuah otot atau sejumlah otot.

Otot merupakan komponen gerak utama dan gerak anggota badan atau seluruh badan merupakan hasil kontraksi otot. Gerak otot servis dengan memukul dan menggunakan tenaga gerak ayunan lengan yang dipindahkan kepada bola dimana sumbu gerak utamanya pada persendian bahu. Sendi bahu diklasifikasikan sebagai persendian yang bersumber tiga arah (*triaxial*), sehingga lengan dapat melakukan fleksi, ekstensi, abduksi, adukasi. Untuk menghasilkan kekuatan yang besar dalam gerakan servis dibantu oleh fleksi tegok. Otot-otot pada persendian bahu sebagai penggerak pada sistem tuas lengan akan menghasilkan tenaga untuk menggerakkan dan mengubah arah kecepatan bola.

Sistem Energi Permainan Bola Voli

Jumlah ATP yang tersedia dalam otot sangat terbatas, oleh karena itu bila latihan fisik terus dilaksanakan maka persendian ATP akan habis. Untuk menjaga kesinambungan kerja otot ATP harus dibentuk dengan menggunakan sumber energi lain. Pembentukan kembali ATP dapat dilakukan melalui tiga sistem energi. Ketiga sistem energi tersebut adalah : (1) sistem ATP-PC, (2) Sistem asam laktat dan (3) Sistem oksigen. Sistem ATP-PC atau sistem phosphogen dan sistem asam laktat membentuk kembali ATP tanpa menggunakan oksigen yang dikenal dengan sistem an-erobik sedangkan sistem oksigen yaitu membentuk kembali ATP dengan bantuan oksigen dikenal dengan sistem aerobik.

a. An-aerobik

Yaitu proses perubahan ATP menjadi ADP dan energi tanpa bantuan oksigen. glikogen yang terdapat dalam otot terpecah menjadi energi, dan membentuk adam laktat. Dalam proses ini asam laktat akan memberikan indikasi adanya kelelahan otot secara local, karena kurangnya jumlah oksigen yang disebabkan oleh kurangnya jumlah suplai darah yang dipompa dari jantung. Misalnya jika ada gerakan yang sifatnya tiba-tiba (mendadak), lari jarak singkat (*Sprint*) dan lain sebagainya. Sebab lain adalah karena pencegahan kebutuhan aliran darah yang mengandung oksigen

dengan adanya beban otot statis. Ataupun karena aliran darah yang tidak cukup mensuplai oksigen dan glikogen akan melepaskan asam laktat.

b. *Aerobic*

Yaitu proses perubahan ATP menjadi ADP dan energi dengan bantuan oksigen yang cukup. Asam laktat yang dihasilkan oleh kontraksi otot dioksidasi dengan cepat menjadi dan dalam kondisi *aerobic*. Sehingga beban pekerjaan yang tidak terlalu melelahkan akan dapat berlangsung cukup lama. Di samping itu aliran darah yang cukup akan mensuplai lemak, karbohidrat dan oksigen ke dalam otot. Akibat dari kondisi kerja yang terlalu lama akan menyebabkan kadar glikogen dalam darah akan menurun drastis di bawah normal, dan kebalikannya kadar asam laktat akan meningkat dan kalau sudah demikian maka cara terbaik adalah menghentikan pekerjaan, kemudian istirahat dan makan makanan yang bergizi untuk membentuk kadar gula dalam darah.

 **Proses Rangkain Gerak Teknik Dasar Servis Bola Voli**

1. Sikap Awal

- Kaki dalam posisi melangkah dengan santai
- Berat badan terbagi seimbang
- Bahu sejajar net
- Kaki dari tangan yang tidak memukul berada di depan
- Gunakan telapak tangan terbuka
- Pandangan ke arah kedepan

2. Gerakan memukul bola

- Pukul bola di depan bahu lengan yang memukul
- Pukul bola tanpa atau dengan sedikit spin
- Pukul bola dengan 1 tangan
- Pukul bola dekat dengan tubuh
- Ayunkan lengan ke belakang dengan sikut ke atas
- Letakkan tangan di dekat telinga
- Pukul bola dengan saat hendak memukul
- Pindah berat badan ke depan

3. Sikap akhir

- Teruskan pemindahan berat ke depan\
- Jatuhkan lengan dengan perlahan sebagai lanjutan

- Bergerak ke lapangan

Contoh Soal 7.4

Apa manfaat yang didapat dalam mempelajari biomekanika olahraga ?

Jawaban :

Manfaatnya untuk memperbaiki teknik dengan melakukan analisis yang dilakukan untuk mencegah cidera olahraga. Jadi dua manfaat utama mempelajari biomekinika adalah memperbaiki penampilan dan mencegah cidera. Selain itu ada beberapa manfaat lain selain dua manfaat utama yang disebutkan diatas, yaitu: (1) membantu dalam proses mempelajari atau mengajarkan satu teknik tertentu, dan (2) dapat menciptakan teknik baru dalam upaya memaksimalkan prestasi yang sudah didapat

Contoh Soal 7.5

Jelaskan dua macam pendekatan yang digunakan untuk mempelajari biologi dan aspek mekanika gerak tubuh ?

Jawaban :

Pendekatan kuantitatif dan pendekatan kualitatif. Pendekatan kuantitatif termasuk menggambarkan suatu gerak tubuh yang bagiannya dalam istilah numerik. Pengamat dengan menggunakan pendekatan kuantifikasi menjelaskan atau membuat uraian situasi yang sebenarnya.

Contoh Soal 7.6

Jelaskan *forehand groundstroke* ?

Jawaban :

forehand groundstroke adalah pukulan yang dilakukan setelah bola memantul dari lapangan dengan cara posisi telapak tangan menghadap ke arah bola yang akan dipukul (menggunakan otot-otot lengan bagian depan).

PENUGASAN KELAS

1. Diskudikanlah dalam kelompok kecil tentang biomekanika dalam sudut pandang olahraga
2. Diskusikan dan mencari infomasi mengenai biomekanika di dalam olahraga.

RANGKUMAN

1. Secara umum manfaat yang didapat dalam mempelajari biomekanika olahraga adalah untuk memperbaiki teknik dengan melakukan analisis yang dilakukan untuk mencegah cidera olahraga. Jadi dua manfaat utama mempelajari biomekinika adalah memperbaiki penampilan dan mencegah cidera. Selain itu ada beberapa manfaat lain selain dua manfaat utama yang disebutkan diatas, yaitu: (1) membantu dalam proses mempelajari atau mengajarkan satu teknik tertentu, dan (2) dapat menciptakan teknik baru dalam upaya memaksimalkan prestasi yang sudah didapat. Secara umum manfaat yang didapat dalam mempelajari biomekanika olahraga adalah untuk memperbaiki teknik dengan melakukan analisis yang dilakukan untuk mencegah cidera olahraga. Jadi dua manfaat utama mempelajari biomekinika adalah memperbaiki penampilan dan mencegah cidera. Selain itu ada beberapa manfaat lain selain dua manfaat utama yang disebutkan diatas, yaitu: (1) membantu dalam proses mempelajari atau mengajarkan satu teknik tertentu, dan (2) dapat menciptakan teknik baru dalam upaya memaksimalkan prestasi yang sudah didapat.
2. Menurut Imam Hidayat (1999: 5) melalui biomekanika pelatih akan membiasakan diri untuk melakukan gerakan tenis lapangan dengan cara yang efisien. Bila gerak itu efisien maka kita dapat mengontrol dan menguasai suatu permainan dalam tenis lapangan. Gerak itu efisien bila: (a) kelompok otot yang besar bekerja lebih dahulu, (b) melakukan kegiatan tenis lapangan dengan penuh gairah, (c) mengeluarkan tenaga secara intelijen, artinya ada koordinasi yang baik, dan saat/timing yang tepat, (d) bergerak secara proporsional, artinya dilakukan dengan ekonomis dan adanya otomasi.
3. Ada dua macam pendekatan yang digunakan untuk mempelajari biologi dan aspek mekanika gerak tubuh yaitu pendekatan kuantitatif dan pendekatan kualitatif. Pendekatan kuantitatif termasuk menggambarkan suatu gerak tubuh yang bagiannya dalam istilah numerik. Pengamat dengan menggunakan pendekatan kuantifikasi menjelaskan atau membuat uraian situasi yang sebenarnya.

4. *Forehand groundstroke* adalah pukulan yang dilakukan setelah bola memantul dari lapangan dengan cara posisi telapak tangan menghadap ke arah bola yang akan dipukul (menggunakan otot-otot lengan bagian depan). Dari pendapat tersebut dapat disimpulkan bahwa *pukulan forehand groundstroke* merupakan pukulan yang dilakukan dengan menggunakan raket setelah bola mantul di lapangan agar masuk ke daerah lawan dengan cara posisi telapak tangan menghadap ke arah bola yang akan dipukul.
5. Pembentukan kembali ATP dapat dilakukan melalui tiga sistem energi. Ketiga sistem energi tersebut adalah : (1) sistem ATP-PC, (2) Sistem asam laktat dan (3) Sistem oksigen.

EVALUASI FORMATIF 2

1. Sebutkan dan jelaskan 3 teknik dasar servis ?
2. Sebutkan teknik dasar servis khususnya servis yang terdiri dari rangkaian gerak ?
3. jelaskan sistem ae-robik dan sistem *aerobic* ?
4. Untuk menghasilkan kekuatan yang besar dalam gerakan servis dibantu oleh ?
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan fleksi tegok ?

KUNCI JAWABAN

1. (-) Sikap awal

Sikap awal dalam melakukan servis dalam bola voli sangat dipengaruhi oleh posisi terbaik kaki dan lemparan bola sehingga dapat dengan dijangkau oleh ayunan tangan pada saat melakukan pukulan.

(-) Sikap saat memukul bola

Kualitas dari servis selain dari posisi awal diatas, juga sangat dipengaruhi oleh koordinasi mata dan tangan terhadap momentum yang tepat dalam melakukan pukulan servis. Kemudian kemampuan dalam melakukan servis juga ditentukan oleh jari-jari tangan, pergelangan tangan, lengan, bahu, dengan power yang dimilikinya.

(-) Sikap dalam gerakan lanjutan

Sikap dalam gerakan lanjutan sangat ditentukan oleh kekuatan otot kaki dalam menjaga keseimbangan badan yang agak terganggu dengan adanya inerc yang terjadi antara tangan dengan bola.

2. Teknik dasar servis khususnya servis atas terdiri dari rangkaian gerak :
 - Awalan
 - Eksekusi
 - Gerak lanjutan
3. (-) An-aerobik : Yaitu proses perubahan ATP menjadi ADP dan energi tanpa bantuan oksigen. glikogen yang terdapat dalam otot terpecah menjadi energi, dan membentuk adam laktat. Dalam proses ini asam laktat akan memberikan indikasi adanya kelelahan oto secara local, karena kurangnya jumlah oksigen yang disebabkan oleh kurangnya jumlah suplai darah yang dipompa dari jantung.
(-) *Aerobic* : Yaitu proses perubahan ATP menjadi ADP dan energi dengan bantuan oksigen yang cukup. Asam laktat yang dihasilkan oleh kontraksi otot diokkdedasi dengan cepat menjadi dan dalam kondisi *aerobic*.
4. Fleksi tegok
5. Fleksi tegok adalah gerak menekuk atau membengkokkan. Ekstensi adalah gerakan untuk meluruskan. Contoh: gerakan ayunan lutut pada kegiatan gerak jalan.

Lembar Kerja Praktek 2

Kegiatan Pembelajaran 3: Biomekanika Trauma

KEMAMPUAN YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa mampu mengetahui apa yang dimaksud dengan biomekanika trauma
2. Mahasiswa dapat memahami jenis-jenis trauma

URAIAN MATERI

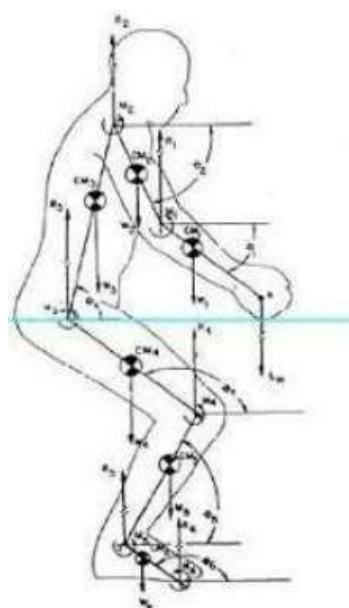
Kejadian yang menyebabkan trauma karena terjadi pemindahan energi (*transfer energy*) kejaringan, atau dalam kasus trauma thermal terjadi perpindahan energi (panas / dingin) kejaringan. Pemindahan energi digambarkan sebagai suatu gelombang kejut yang bergerak dengan kecepatan yang bervariasi melalui media yang berbeda-beda. Teori ini berlaku untuk semua jenis gelombang seperti gelombang suara, gelombang tekanan arterial, seperti contoh *shock wave* yang dihasilkan pada hati atau korteks tulang pada saat terjadi benturan dengan suatu objek yang menghasilkan pemindahan energi. Apabila energi yang dihasilkan melebihi batas toleransi jaringan, maka akan terjadi disrupti jaringan dan terjadi suatu trauma memperkuat indikasi tindakan bedah. Luka tembus pada tubuh dan tekanan darah yang menurun menunjukkan adanya trauma pembuluh darah besar yang harus dilakukan tindakan bedah segera. Penderita dengan trauma kepala yang bukan karena kecelakaan lalu lintas dan pada pemeriksaan *neurologis* didapatkan *abnormalitas*, kemungkinan besar harus dilakukan tindakan bedah eksplorasi. Sedangkan luka bakar karena kebakaran besar didalam ruangan tertutup biasanya disertai oleh cedera intalasi dan keracunan karbon monoksida.

Biomekanika trauma merupakan ilmu yang mempelajari kejadian cidera pada suatu jenis kekerasan atau kecelakaan menggunakan prinsip-prinsip mekanika dipakai dalam penyusunan konsep, analisis, disain dan pengembangan peralatan dan sistem dalam biologi dan kedokteran. Menurut Frankel dan Nordin pada tahun 1980 biomekanika merupakan ilmu mekanika teknik untuk analisa sistem kerangka otot manusia (Chaffin, 1991). Biomekanika menggunakan konsep fisika dan teknik untuk menjelaskan gerakan pada bermacam-macam bagian tubuh dan gaya yang bekerja pada bagian tubuh pada aktivitas sehari-hari. Kajian biomekanika dapat dilihat dalam dua perspektif, yaitu kinematika dan kinetika. Kinematika lebih menjurus pada karakteristik gerakan yaitu meneliti gerakan dari segi ruangan yang

digunakan dalam waktu yang bersifat sementara tanpa melihat gaya yang menyebabkan gerakan. Studi kinematika menjelaskan gerakan yang menyebabkan berapa cepat obyek bergerak, berapa ketinggiannya atau berapa jauh obyek menjangkau jarak. Posisi, kecepatan dan percepatan tersebut merupakan studi kinematika. Kajian kinetika menjelaskan tentang gaya yang bekerja pada satu sistem, misalnya tubuh manusia. Kajian gerakan kinetika menjelaskan gaya yang menyebabkan gerakan. Dibandingkan dengan kajian kinematika, kajian kinetika lebih sulit untuk diamati, pada kajian kinetik yang terlihat adalah akibat dari gaya.

Dalam analisis biomekanika, tubuh manusia dipandang sebagai sistem yang terdiri dari link (penghubung) dan joint (sambungan), tiap link mewakili segmen-segmen tubuh tertentu dan tiap joint menggambarkan sendi yang ada. Menurut Chaffin dan Anderson tubuh manusia terdiri dari enam link, yaitu:

1. Link lengan bawah yang dibatasi oleh joint telapak tangan dan siku.
2. Link lengan atas yang dibatasi oleh joint siku dan bahu.
3. Link punggung yang dibatasi oleh joint bahu dan pinggul.
4. Link paha yang dibatasi oleh joint pinggul dan lutut.
5. Link betis yang dibatasi oleh joint lutut dan mata kaki.
6. Link kaki yang dibatasi oleh joint mata kaki dan telapak kaki.



Gambar 7. 7 Tubuh Sebagai sistem enam link dan joint

Seperti yang disebutkan di atas bahwa manusia dapat disamakan dengan segmen benda jamak maka panjang setiap link dapat diukur berdasarkan persentase tertentu dari tinggi badan, sedangkan beratnya berdasarkan persentase dari berat badan. Penentuan letak pusat

massa tiap link didasarkan pada persentase standar yang ada. Panjang setiap link tiap segmen berotasi di sekitar sambungan dan mekanika terjadi mengikuti hukum newton. Prinsip-prinsip ini digunakan untuk menyatakan gaya mekanik pada tubuh dan gaya otot yang diperlukan untuk mengimbangi gaya-gaya yang terjadi. Secara umum pokok bahasan dari biomekanika adalah untuk mempelajari interaksi fisik antara pekerja dengan mesin, material dan peralatan dengan tujuan untuk meminimumkan keluhan pada sistem kerangka otot agar produktivitas kerja dapat meningkat. Menghindari keluhan pada sistem kerangka otot dapat ditanggulangi dengan perancangan sistem kerja seperti alat kerja atau postur kerja yang ergonomis seperti yang telah disebutkan di atas atau melakukan pengendalian administratif (pemilihan personel yang tepat, pelatihan tentang teknik-teknik penanganan material). Misalnya pada gerakan jalan yang terpenting adalah keseimbangan. Gerakan ini akan memperlihatkan bagaimana kedua kaki saling menyeimbangkan berat tubuh dalam pergerakan berpindah. Untuk pengguna alat bantu pada kaki gerak terlihat bagaimana alat bantu tersebut menyeimbangkan pasien dalam berjalan sehingga alat tersebut nyaman dipakai.

A. Biomekanika Trauma

Titik berat bahasan biomekanika adalah pada fisik manusia khususnya pada saat manusia melakukan kegiatan yang biasanya tanpa menggunakan alat bantu apapun. Meskipun kemajuan teknologi telah banyak membantu aktivitas manusia, namun tetap saja ada beberapa pekerjaan manual yang tidak dapat dihilangkan dengan pertimbangan biaya maupun kemudahan. Pekerjaan ini membutuhkan usaha fisik sedang hingga besar dalam durasi waktu kerja tertentu. Usaha fisik ini banyak mengakibatkan kecelakaan kerja ataupun low back pain, yang menjadi isu besar di negara-negara industri belakangan ini. Aktivitas yang tidak tepat dapat menimbulkan kerugian bahkan kecelakaan kerja. Akibat yang ditimbulkan dari aktivitas yang tidak benar salah satunya adalah keluhan muskoloskeletal. Keluhan muskoloskeletal adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan yang sangat ringan sampai sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dalam jangka waktu yang lama akan dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon. Keluhan inilah yang biasanya disebut sebagai muskoloskeletal disorder (MSDs) atau cedera pada sistem muskoloskeletal. Khusus saat melakukan jenis pengangkatan, organ tubuh yang mendapatkan pengaruh paling besar adalah pada bagian tulang belakang, biomekanika pun membahas mengenai struktur tulang belakang pada tubuh manusia. Pengangkatan manual yang dilakukan oleh operator akan membuat struktur

tulang belakang mengalami tekanan yang berlebihan, meskipun pengangkatan manual tersebut dilakukan tidak terlalu sering atau dengan kata lain frekuensinya jarang. Namun demikian, hal tersebut tetap saja memberikan pengaruh buruk terhadap struktur tulang belakang. Tingginya tingkat cidera atau kecelakaan kerja selain merugikan secara langsung yaitu sakit yang diderita oleh pekerja, kecelakaan tersebut juga akan berdampak buruk terhadap kinerja perusahaan yaitu berupa penurunan produktivitas perusahaan, baik melalui beban biaya pengobatan yang cukup tinggi dan juga ketidakhadiran pekerja serta penurunan dalam kualitas kerja. Contoh dari penerapan ilmu biomekanika adalah untuk menjelaskan efek getaran dan dampak yang timbul akibat kerja, menyelidiki karakteristik kolom tulang belakang, menguji penggunaan alat *prosthetic*, dll.

B. Mekanisme Trauma

Mekanisme trauma dapat diklasifikasikan sebagai berikut : tumpul, kompresi , ledakan dan tembus. Mekanisme cidera terdiri dari : cidera langsung, misal kepala dipukul menggunakan martil. kulit kepala bisa robek,tulang kepala bisa retak atau patah, dapat mengakibatkan perdarahan di otak. cidera perlambatan / deselerasi, misal pada kecelakaan motor membentur pohon.setelah badan berhenti dipohon, maka organ dalam akan tetap bergerak maju, jantung akan terlepas dari ikatannya(aorta) sehingga dapat mengakibatkan ruptur aorta. cidera percepatan / akselerasi, misalnya bila pengendara mobil ditabrak dari belakang. Misalnya pengendara mobil ditabrak dari belakang. Tabrakan dari belakang biasanya kehilangan kesadaran sebelum tabrakan dan sebagainya. Anamnesis yang berhubungan dengan fase ini meliputi : a. Tipe kejadian trauma, misalnya : tabrakan kendaraan bermotor, jatuh atau trauma / luka tembus.b. Perkiraan intensitas energi yang terjadi misalnya : kecepatan kendaraan, ketinggian dari tempat jatuh, kaliber atau ukuran senjata. c. Jenis tabrakan atau benturan yang terjadi pada penderita : mobil, pohon, pisau dan lain - lain.

C. Trauma Tumpul

Penyebab terbanyak dari trauma tumpul adalah kecelakaan lalu lintas. Pada suatu kecelakaan lalulintas, misalnya tabrakan mobil, maka penderita yang berada didalam mobil akan mengalami beberapa benturan (*collision*) berturut-turut sebagai berikut :

1. *Primary Collision* Terjadi pada saat mobil baru menabrak, dan penderita masih berada pada posisi masingmasing. Tabrakan dapat terjadi dengan cara : Tabrakan depan (*frontal*), Tabrakan samping (*TBone*), Tabrakan dari belakang, Terbalik (*roll over*).

2. *Secondary Collision* Setelah terjadi tabrakan penderita menabrak bagian dalam mobil (atau sabuk pengaman). Perlukaan yang mungkin timbul akibat benturan akan sangat tergantung dari arah tabrakan.
3. *Tertiary Collision* Setelah penderita menabrak bagian dalam mobil, organ yang berada dalam rongga tubuh akan melaju kearah depan dan mungkin akan mengalami perlukaan langsung ataupun terlepas (robek) dari alat pengikatnya dalam rongga tubuh tersebut.
4. *Subsidiary Collision* Kejadian berikutnya adalah kemungkinan penumpang mobil yang mengalami tabrakan terpental kedepan atau keluar dari mobil. Selain itu barang-barang yang berada dalam mobil turut terpental dan menambah cedera pada penderita.

D. Trauma Kompresi

Trauma kompresi terjadi bila bagian depan dari badan berhenti bergerak, sedangkan bagian dalam tetap bergerak kedepan. Organ-organ terjepit dari belakang oleh bagian belakang dinding torak oabdiminal dan kolumnavetrebralis, dan didepan oleh struktur yang terjepit. Pada organ yang berongga dapat terjadi apa yang trauma. Mekanisme trauma yang terjadi pada pengendara sepeda motor dan sepeda meliputi

1. Benturan frontal Bila roda depan menabrak suatu objek dan berhenti mendadak maka kendaraan akan berputar kedepan,dengan momentum mengarah kesumbu depan. Momentum kedepan akan tetap, sampai pengendara dan kendaraannya dihentikan oleh tanah atau benda lain. Pada saat gerakan kedepan ini kepala, dada atau perut pengendara mungkin membentur stang kemudi. Bila pengendara terlempar keatas melewati stang kemudi, maka tungkainya mungkin yang akan membentur stang kemudi, dan dapat terjadi fraktur femur bilateral.
2. Benturan lateral Pada benturan samping, mungkin akan terjadi fraktur terbuka atau tertutup tungkai bawah. Kalau sepeda / motor tertabrak oleh kendaraan yang bergerak maka akan rawan untuk mengalami tipe trauma yang sama dengan pemakai mobil yang mengalami tabrakan samping. Pada tabrakan samping pengendara juga akan terpental karena kehilangan keseimbangan sehingga akan menimbulkan cedera tambahan.
3. *Laying the bike down* Untuk menghindari terjepit kendaraan atau objek yang akan ditabraknya pengendara mungkin akan menjatuhkan kendaraannya untuk

memperlambat laju kendaraan dan memisahkannya dari kendaraan. Cara ini dapat menimbulkan cedera jaringan lunak yang sangat parah.

4. Helm (*helmets*) Walaupun penggunaan helm untuk melindungi kepala agak terbatas namun penggunaannya jangan diremehkan. Helm didesain untuk mengurangi kekuatan yang mengenai kepala dengan cara mengubah energi kinetik benturan melalui kerja deformasi dari bantalannya dan diikuti dengan mendistribusikan kekuatan yang menimpa tersebut seluasluasnya. Secara umum petugas gawat darurat harus berhati-hati dalam melepas helm korban kecelakaan roda dua, terutama pada kecurigaan adanya fraktur cervical harus tetap menjaga kestabilan kepala dan tulang belakang dengan cara teknik fiksasi yang benar. Secara umum keadaan yang harus dicurigai sebagai perlukaan berat (walaupun penderita mungkin dalam keadaan baik) adalah sebagai berikut : Penderita terpental , antara lain : - Pengendara motor - Pejalan kaki ditabrak kendaraan bermotor - Tabrakan mobil dengan terbalik - Terpental keluar mobil Setiap jatuh dari ketinggian > 6 meter Ada penumpang mobil (yang berada didalam satu kendaraan) meninggal.

E. Trauma Ledakan

Ledakan terjadi sebagai hasil perubahan yang sangat cepat dari suatu bahan dengan volume yang relatif kecil, baik padat, cairan atau gas, menjadi produk-produk gas. Produk gas ini yang secara cepat berkembang dan menempati suatu volume yang jauh lebih besar dari pada volume bahan aslinya. Bilamana tidak ada rintangan, pengembangan gas yang cepat ini akan menghasilkan suatu gelombang tekanan (*shock wave*). Trauma ledakan dapat diklasifikasikan dalam 3 mekanisme kejadian trauma yaitu primer, sekunder dan tersier. Trauma ledak primer Merupakan hasil dari efek langsung gelombang tekanan dan paling peka terhadap organ –organ yang berisi gas. Membrana timpani adalah yang paling peka terhadap efek primer ledak dan mungkin mengalami ruptur bila tekanan melampaui 2 atmosfir. Jaringan paru akan menunjukan suatu kontusi, edema dan rupture yang dapat menghasilkan pneumothoraks. Cedera ledak primer (gelombang kejut). Cedera ledak sekunder Ruptur alveoli dan vena pulmonaris dapat menyebabkan emboli udara dan kemudian kematian mendadak. Pendarahan intraokuler dan ablasio retina merupakan manifestasi okuler yang biasa terjadi, demikian juga ruptur intestinal. Trauma ledak sekunder Merupakan hasil dari objek-objek yang melayang dan kemudian membentur orang disekitarnya. Trauma ledak tersier Terjadi bila orang disekitar ledakan terlempar dan kemudian membentur suatu objek atau tanah. Trauma

ledak sekunder dan tertier dapat mengakibatkan trauma baik tembus maupun tumpul secara bersamaan. Cedera Ledak Tersier.

F. Trauma Tembus (*Penetrating Injury*)

1. Senjata dengan energi rendah (*Low Energy*) Contoh senjata dengan energi rendah adalah pisau dan alat pemecah es. Alat ini menyebabkan kerusakan hanya karena ujung tajamnya. Karena energi rendah, biasanya hanya sedikit menyebabkan cedera sekunder. Cedera pada penderita dapat diperkirakan dengan mengikuti alur senjata pada tubuh. Pada luka tusuk, wanita mempunyai kebiasaan menusuk kebawah, sedangkan pria menusuk keatas karena kebiasaan mengepal. Saat menilai penderita dengan luka tusuk, jangan diabaikan kemungkinan luka tusuk multipel. Inspeksi dapat 27 dilakukan dilokasi, dalam perjalanan ke rumah sakit atau saat tiba di rumah sakit, tergantung pada keadaan disekitar lokasi dan kondisi pasien.
2. Senjata dengan energi menengah dan tinggi (*medium and high energy*) Senjata dengan energi menengah contohnya adalah pistol, sedangkan senjata dengan energi tinggi seperti senjata militer dan senjata untuk berburu. Semakin banyak jumlah mesiu, maka akan semakin meningkat kecepatan peluru dan energi kinetiknya. Kerusakan jaringan tidak hanya daerah yang dilalui peluru tetapi juga pada daerah disekitar alurnya akibat tekanan dan regangan jaringan yang dilalui peluru. Peluru akibat senjata energi tinggi.

Contoh Soal 7.7

Jelaskan apa yang dimaksud dengan *shock wave* ?

Jawaban :

Shock wave adalah gelombang kejutan dari sebuah aliran yang sangat cepat dikarenakan kenaikan tekanan, temperature dan densitas secara mendadak pada waktu bersamaan

Contoh Soal 7.8

Jelaskan apa yang dimaksud dengan pemeriksaan *neurologis* ?

Jawaban :

Pemeriksaan *Neurologi* adalah pemeriksaan yang menangani kelainan pada sistem saraf, termasuk pada sistem saraf pusat (otak, batang otak dan otak kecil), sistem saraf tepid dan sistem saraf otonom.

Contoh Soal 7.9

Sebutkan dan jelaskan kejadian biomaterial dalam 2 perspektif ?

Jawaban :

- Kinematika lebih menjurus pada karakteristik gerakan yaitu meneliti gerakan dari segi ruangan yang digunakan dalam waktu yang bersifat sementara tanpa melihat gaya yang menyebabkan gerakan.
- Kajian kinetika menjelaskan tentang gaya yang bekerja pada satu sistem, misalnya tubuh manusia.

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikan tentang biomekanika dengan terjadinya trauma.
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil tentang dampak pada biomekanika trauma.

RANGKUMAN

1. Kejadian yang menyebabkan trauma karena terjadi pemindahan energi (*transfer energy*) kejaringan, atau dalam kasus trauma thermal terjadi perpindahan energi (panas / dingin) kejaringan.
2. Biomekanika trauma merupakan ilmu yang mempelajari kejadian cedera pada suatu jenis kekerasan atau kecelakaan menggunakan prinsip-prinsip mekanika dipakai dalam penyusunan konsep, analisis, desain dan pengembangan peralatan dan sistem dalam biologi dan kedokteran.
3. Menurut Chaffin dan Anderson tubuh manusia terdiri dari enam link, yaitu:

- Link lengan bawah yang dibatasi oleh joint telapak tangan dan siku.
 - Link lengan atas yang dibatasi oleh joint siku dan bahu.
 - Link punggung yang dibatasi oleh joint bahu dan pinggul.
 - Link paha yang dibatasi oleh joint pinggul dan lutut.
 - Link betis yang dibatasi oleh joint lutut dan mata kaki.
 - Link kaki yang dibatasi oleh joint mata kaki dan telapak kaki.
4. Keluhan muskoloskeletal adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan yang sangat ringan sampai sangat sakit.
 5. Anamnesis yang berhubungan dengan fase ini meliputi :
 - a. Tipe kejadian trauma
 - b. Perkiraan intensitas
 - c. Jenis tabrakan atau benturan yang terjadi pada penderita

EVALUASI FORMATIF 3

1. Sebutkan enam link tubuh manusia menurut Chaffin dan Anderson ?
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan muskoloskeletal ?
3. Jelaskan alat *prosthetic* ?
4. Sebutkan tiga tipe mekanisme trauma ?
5. Sebutkan empat trauma tumpul ?

KUNCI JAWABAN

1. Enam link menurut Chaffin dan Anderson :
 - Link lengan bawah yang dibatasi oleh joint telapak tangan dan siku.
 - Link lengan atas yang dibatasi oleh joint siku dan bahu.
 - Link punggung yang dibatasi oleh joint bahu dan pinggul.
 - Link paha yang dibatasi oleh joint pinggul dan lutut.
 - Link betis yang dibatasi oleh joint lutut dan mata kaki.
 - Link kaki yang dibatasi oleh joint mata kaki dan telapak kaki.
2. Keluhan muskoloskeletal adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan yang sangat ringan sampai sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dalam jangka waktu yang lama akan dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon.

Keluhan inilah yang biasanya disebut sebagai muskoloskeletal disorder (MSDs) atau cedera pada sistem musculoskeletal.

3. Alat *prosthetic* atau yang disebut dengan prosthesis adalah alat buatan yang menyerupai tubuh untuk menggantikan bagian tubuh yang hilang atau rusak akibat trauma, penyakit atau kondisi prakelahiran.



4. Tiga tipe mekanisme traum :
 - Tipe kejadian trauma,
 - Perkiraan intensitas energi yang terjadi
 - Jenis tabrakan atau benturan yang terjadi pada penderita
5. empat trauma tumpul :
 - *Primary Collision*
 - *Secondary Collision*
 - *Tertiary Collision*
 - *Subsidiary Collision*

Modul 8:

Biotermal

PENDAHULUAN

Biotermal (Suhu dan Termometer) berasal dari kata Bio Artinya Makluk Hidup, Sedangkan termal adalah suhu. Suhu adalah besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda. Defenisi Suhu dapat ditunjukkan dari dua cara lain secara kualitatif dan kuantitatif. Suhu secara kualitatif adalah Panas, hangat, sejuk dan dingin sedangkan suhu secara kuantitatif adalah mempunyai satuan dan dapat diukur.

Pembuatan Termometer pertama kali dilakukan oleh Galileo Galilei (1564-1642) Pada Tahun 1595. Alat tersebut dinamakan Termoskop. Pada abad ke 17 terdapat jenis skala yang membuat ilmuwan kebingungan. Hal ini memberikan inspirasi pada Andres Celcius (1701 – 1744) sehingga pada tahun 1742 dia memperkenalkan skala yang digunakan sebagai pedoman pengukur suhu. Skala ini diberi nama sesuai dengan namanya yaitu skala Celcius. Apabila benda ditinggalkan terus, maka suhu ini disebut kondisi nol mutlak. Skala Celcius tidak bisa menjawab masalah ini maka Lord Kelvin (1842 – 1907) menawarkan skala baru yang diberi nama Kelvin. Skala Kelvin dimulai dari 273 K ketika air membeku dan 373 K ketika air mendidih, sehingga nol mutlak sama dengan 0 K atau 273 °C. Selain skala tersebut ada juga skala Reamur dan Fahrenheit, untuk skala Reamur air membeku pada suhu 0 °R dan mendidih pada suhu 80 °R sedangkan pada skala Fahrenheit air membeku pada suhu 32 °F dan mendidih pada suhu 212 °F. Termometer menurut isinya dibagi menjadi :

1. Termometer cair
2. Termometer padat
3. Termometer digital

Semua termometer ini mempunyai keunggulan dan kelamahan masing-masing, sedangkan berdasarkan pengukurannya termometer bermacam-macam misal termometer klinis, termometer lab, dan lain-lain.

Kegiatan Pembelajaran 1: Prinsip Biotermal Pada Termometer

KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa memiliki pengertian dan pemahaman mengenai biotermal
2. Mahasiswa memiliki pengetahuan mengenai jenis dan fungsi termometer
3. Mahasiswa mampu menjelaskan tentang cara perpindahan panas

URAIAN MATERI

Biotermal adalah panas yang dihasilkan dari makhluk hidup. Alat yang digunakan untuk mengukur suhu disebut termometer. Suhu adalah suatu besaran yang menunjukkan derajat panas dingin dari suatu benda. Benda yang memiliki panas akan menunjukkan suhu yang tinggi daripada benda dingin. Sering kita menyebutkan suatu benda panas atau dingin dengan cara menyentuh benda tersebut dengan alat indra kita, walau kita tidak dapat menyimpulkan berapa derajat panas dari benda tersebut, untuk mengetahui seberapa besar suhu benda tersebut maka digunakanlah termometer. Pembuatan termometer pertama kali dipelopori oleh Galileo Galilei (1564 sampai 1642) pada tahun 1595. Alat tersebut disebut dengan termoskop yang berupa labu kosong yang dilengkapi pipa panjang dengan ujung pipa terbuka. Termometer yang sering digunakan terbuat dari bahan cair misalnya raksa dan alkohol. Prinsip yang digunakan adalah pemuaian zat cair ketika terjadi peningkatan suhu benda.

Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu atau alat yang digunakan untuk menyatakan derajat panas atau dingin suatu benda. Istilah pada termometer berasal dari bahasa Latin yang berarti thermo, artinya panas dan meter artinya untuk mengukur. Termometer memanfaatkan sifat termometrik dari suatu zat, yaitu perubahan dari sifat-sifat zat disebabkan perubahan suhu dari zat tersebut. Dalam kehidupan sehari-hari masyarakat dalam mengukur suhu cenderung menggunakan indera peraba, tetapi dengan adanya perkembangan teknologi maka diciptakan termometer untuk mengukur suhu dengan hasil yang valid.

Jenis dan Fungsi Termometer

1. Termometer Zat Cair

Termometer zat cair merupakan sebuah pipa kaca sempit yang tertutup berisi zat cair dan memiliki sebuah skala.



Gambar 8.1 Termometer Zat Cair

Cara kerja termometer ini pada pengaruh perubahan suhu dengan perubahan volumenya. Coba anda perhatikan pada volume air yang telah dipanaskan. Pada saat air dipanaskan, maka suhu air meningkat. kemudian yang akan terjadi adalah volume air itu akan meningkat juga. Begitu juga sebaliknya, ketika air didinginkan maka volume air akan menurun. Selain dengan air, dapat terjadi dengan zat lain, yaitu raksa dan alkohol yang dapat digunakan untuk bahan termometer. Contoh termometer ini yaitu berskala celcius, fahrenheit, reamur, kelvin, termometer badan, termometer ruangan dan juga termometer maksimum-minimum.

2. Termometer Hambatan Listrik

Termometer hambatan listrik bisa disebut dengan nama lain yaitu termometer platina. Cara kerja termometer ini yaitu ketika suhu naik, maka hambatan listrik platina akan naik.



Gambar 8.2 Termometer hambatan listrik

Bahan penghantar listrik termometer ini terbuat dari platina sehingga tahan dari panas. Apabila jika suatu suhu semakin besar, maka pada harga takaran juga semakin besar sehingga membuat daya hantar listrik menjadi berkurang. Keuntungan termometer ini yaitu

dapat membuat jangkauan suhunya sangat lebar, sekitar -250°C sampai 1500°C , sehingga termometer platina ini sangat banyak digunakan oleh industri-industri. Tetapi kekurangannya adalah suhu tidak dapat langsung terbaca, pembacaannya sangat lambat sehingga tidak sesuai dalam mengukur suhu yang berubah.

3. Termokopel

Termometer termokopel ini terbuat dari dua kawat yang bahannya dari logam, jenisnya ini berbeda dan dihubungkan pada sebuah amperemeter. Cara kerjanya yaitu ketika suhu berbeda maka akan mengeluarkan arus listrik yang berbeda juga.



Gambar 8.3 Termokopel

Keuntungan pada termokopel yaitu pada jangkauan suhu luas dari -100°C sampai 1500°C , selain memiliki jangkauan yang luas, termometer termokopel ini bisa juga mengukur suatu suhu dengan cepat dan bisa dihubungkan pada rangkaian lain seperti komputer.

4. Termometer Gas

Jenis termometer gas seperti bola kaca dan berisi sebuah gas yang disambungkan pada manometer.



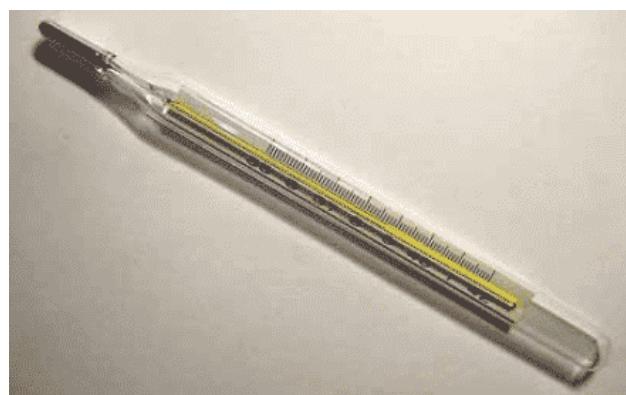
Gambar 8.4 Termometer Gas

Cara kerjanya termometer ini yaitu ketika bola gas terkena panas maka gas yang berada di dalam tabung kaca akan terurai dan menekan zat cair yang terdapat pada manometer. Kenaikan zat cair itu dipakai dalam mengetahui suhu yang ada di sekitar bola kaca. Termometer gas berfungsi berdasarkan pada sifat pemuaian gas. Contoh gas yang dapat dipakai yaitu gas hidrogen dan helium yang memiliki tekanan yang rendah, jika gas itu terkena panas maka volume gas akan bertambah.

Keuntungan pada termometer gas yaitu lebih teliti dibanding termometer cairan. Termometer gas bisa digunakan dalam mengukur suatu suhu yang sangat tinggi dan mengukur suhu yang sangat rendah, yang lebar jangkauannya yaitu sekitar -250°C sampai 1500°C .

5. Termometer Klinis

Termometer klinis atau nama lain termometer ini adalah termometer badan. Termometer ini sering sekali dipakai oleh para dokter dan perawat pada rumah sakit untuk mengukur suhu badan manusia pada saat demam.



Gambar 8.5 Termometer Klinis

Cairan yang dipakai dalam mengisi termometer klinis yaitu air raksa. Skala pada termometer ini sekitar 35°C sampai 42°C . Cara menggunakannya, termometer ini diletakkan pada ketiak atau mulut sekitar 2 menit.

6. Termometer Dinding

Termometer dinding atau nama lain termometer ruangan. Pada umumnya, termometer dinding ini diletakkan tegak pada dinding sebuah ruangan dan pemakaiannya untuk mengukur suhu pada ruang.

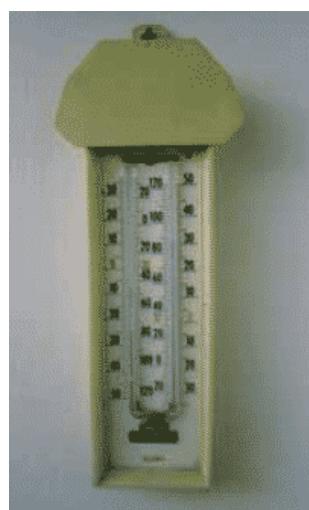


Gambar 8.6 Termometer Dinding

Angka-angka yang berada pada skala termometer dinding yaitu mencakup suhu di atas dan di bawah pada ruangan dalam bentuk derajat Celcius atau Fahrenheit. jangkauannya sekitar -30°C sampai 50°C.

7. Termometer Maksimum dan Minimum

Termometer maksimum dan minimum ini sering dipakai pada pengamat cuaca dalam mengetahui suhu tertinggi dan suhu terendah di jangka waktu tertentu. Termometer maksimum dan minimum terdiri dari pipa U yang masing-masing bagian terisi alkohol dan air raksa.



Gambar 8.7 Termometer Maksimum dan Minimum

Termometer maksimum-minimum mempunyai 2 skala yakni skala minimum di kolom bagian kiri dan skala maksimum di kolom bagian kanan sehingga suhu akan terbaca sesuai pada ketinggian kolom raksa. Termometer ini bisa juga dipakai dalam mengukur suhu pada sebuah rumah kaca, maksudnya rumah yang dipakai pada tanaman sebagai bahan penelitian. Suhu minimum terjadi di malam hari dan suhu maksimum terjadi di siang hari.

8. Termometer Optik (Pyrometer)

Termometer optik adalah termometer yang fungsinya berdasarkan spektrum cahaya seperti perubahan warna logam yang diakibatkan pada perubahan suhu. Termometer optik atau juga pirometer sering digunakan dalam mengukur suhu yang sangat tinggi sekitar 1000°C keatas. Cara kerja termometer optik ini mengukur suhu tetapi tidak menyentuh benda secara langsung.



Gambar 8.8 Termometer optik

Contoh dari thermometer ini yaitu mengukur suhu bintang atau mengukur pada suhu tungku pengecoran logam. Pada spektrum berwarna biru artinya lebih panas daripada spektrum yang berwarna merah.

9. Termometer Bimetal

Termometer bimetal yaitu termometer yang dapat memanfaatkan perbedaan pemuaian pada dua jenis logam. Termometer ini seperti dua buah keping logam yang fungsi pemuaianya berbeda, sehingga jika terkena perubahan suhu maka termometer bimetal akan terjadi pelengkungan menuju arah tertentu.



Gambar 8.9 Termometer bimetal

Pada suhu yang meningkat, maka keping termometer bimetal akan melengkung pada arah logam yang mempunyai koefisien muai lebih rendah. Tetapi jika suhu menurun, maka keping termometer bimetal akan melengkung pada arah logam yang mendapati koefisien muai lebih tinggi. Termometer bimetal ini dipakai dalam mengukur suhu oven kompor, termostat, pemanggang, atau circuit breakers.

10. Termometer Termistor

Termometer satu ini memakai termistor untuk sensornya. Termistor merupakan suatu alat atau komponen sensor elektronika yang digunakan dalam mengukur suhu.



Gambar 8.10 Termometer Termistor

Jika perubahan suhu naik, maka hambatan pada termistor akan turun. Hambatan listrik diukur pada rangkaian skala didalam derajat suhu. Kelebihannya bisa dihubungkan pada komputer. Kekurangannya yaitu jangkauan suhunya sangat terbatas sekitar -25°C sampai 180°C .

Contoh Soal 8.1:

Sebutkan contoh termometer zat cair ?

Jawab :

Contoh termometer zat cair yaitu berskala celcius, fahrenheit, reamur, kelvin, termometer badan, termometer ruangan dan juga termometer maksimum-minimum.

Contoh Soal 8.2:

Sebutkan kelebihan dan kekurangan termistor ?

Jawab :

Kelebihannya bisa dihubungkan pada komputer. Kekurangannya yaitu jangkauan suhunya sangat terbatas sekitar -25°C sampai 180°C .

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikanlah mengenai prinsip biotermal pada termometer
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil mengenai jenis dan fungsi serta cara kerja termometer

RANGKUMAN

1. Biotermal adalah panas yang dihasilkan dari makhluk hidup. Alat yang digunakan untuk mengukur suhu disebut termometer.
2. Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu atau alat yang digunakan untuk menyatakan derajat panas atau dingin suatu benda. Istilah pada termometer berasal dari bahasa Latin yang berarti thermo, artinya panas dan meter artinya untuk mengukur..
3. Termometer memanfaatkan sifat termometrik dari suatu zat, yaitu perubahan dari sifat-sifat zat disebabkan perubahan suhu dari zat tersebut.
4. Terdapat 10 jenis termometer yaitu termometer zat cair, thermometer hambatan listrik, termokopel, thermometer gas, thermometer klinis, thermometer dinding, thermometer

- maksimum dan minimum, termometer optik, termometer bimetal, dan termometer termistor.
5. Termometer zat cair merupakan sebuah pipa kaca sempit yang tertutup berisi zat cair dan memiliki sebuah skala.
 6. Termometer hambatan listrik bisa disebut dengan nama lain yaitu termometer platina. Cara kerja termometer ini yaitu ketika suhu naik, maka hambatan listrik platina akan naik.
 7. Termometer termokopel ini terbuat dari dua kawat yang bahannya dari logam, jenisnya ini berbeda dan dihubungkan pada sebuah amperemeter.
 8. Jenis termometer gas seperti bola kaca dan berisi sebuah gas yang disambungkan pada manometer.
 9. Termometer klinis atau nama lain termometer ini adalah termometer badan. Termometer ini sering sekali dipakai oleh para dokter dan perawat pada rumah sakit untuk mengukur suhu badan manusia pada saat demam.
 10. Termistor merupakan suatu alat atau komponen sensor elektronika yang digunakan dalam mengukur suhu.

EVALUASI FORMATIF 1

1. Apa yang dimaksud dengan biotermal ?
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan termometer !
3. Sebutkan jenis-jenis termometer!
4. Jelaskan cara kerja termometer optik beserta contohnya!
5. Apa kelebihan dari jenis termometer gas ?

KUNCI JAWABAN

1. Biotermal (Suhu dan Termometer) berasal dari kata Bio Artinya Makluk Hidup. Sedangkan termal adalah suhu. Biotermal adalah panas yang dihasilkan dari makhluk hidup.
2. Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu atau alat yang digunakan untuk menyatakan derajat panas atau dingin suatu benda. Istilah pada termometer berasal dari bahasa Latin yang berarti thermo, artinya panas dan meter artinya untuk mengukur..
3. Terdapat 10 jenis termometer yaitu termometer zat cair, thermometer hambatan listrik, termokopel, thermometer gas, thermometer klinis, thermometer dinding, thermometer

maksimum dan minimum, termometer optik, termometer bimetal, dan termometer termistor.

4. Cara kerja termometer optik ini mengukur suhu tetapi tidak menyentuh benda secara langsung. Contoh dari thermometer ini yaitu mengukur suhu bintang atau mengukur pada suhu tungku pengecoran logam. Pada spektrum berwarna biru artinya lebih panas daripada spektrum yang berwarna merah.
5. Cara kerjanya termometer gas yaitu ketika bola gas terkena panas maka gas yang berada di dalam tabung kaca akan terurai dan menekan zat cair yang terdapat pada manometer. Kenaikan zat cair itu dipakai dalam mengetahui suhu yang ada di sekitar bola kaca. Termometer gas berfungsi berdasarkan pada sifat pemuaian gas.

LEMBAR KERJA PRAKTEK 1

Kegiatan Pembelajaran 2 : Prinsip Biotermal Terhadap Pengaturan Suhu Tubuh

KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa memiliki pengertian dan pemahaman mengenai prinsip biotermal terhadap pengaturan suhu tubuh
2. Mahasiswa mampu menjelaskan keseimbangan panas tubuh

URAIAN MATERI

Definisi suhu tubuh

Sebagian besar manusia melakukan aktivitas pada lingkungan yang “normal”, yaitu pada suhu sedang pada dataran yang tidak terlalu jauh di atas permukaan laut. Dibandingkan dengan primata lain, manusia mempunyai kemampuan yang jauh lebih besar untuk mentoleransi suhu panas, karena banyaknya kelenjar keringat serta tubuh yang hanya berambut halus. Di dalam tubuh energi panas dihasilkan oleh jaringan aktif terutama dalam otot, kemudian juga dalam alat keringat, lemak, tulang, jaringan ikat, serta saraf. Energi panas yang dihasilkan didistribusikan ke seluruh tubuh melalui sirkulasi darah, namun suhu bagian-bagian tubuh tidak merata. Terdapat perbedaan yang cukup besar (sekitar 4°C) antara suhu inti dan suhu permukaan tubuh. 6,7 Sistem termoregulator tubuh harus dapat mencapai dua gradient suhu yang sesuai, yaitu: a) antara suhu inti dengan suhu permukaan, b) antara suhu permukaan dengan suhu lingkungan. Dari keduanya, gradient suhu inti dengan suhu permukaan adalah yang terpenting untuk kelangsungan fungsi tubuh yang optimal. Selanjutnya pertukaran panas dengan lingkungan sekitar berlangsung melalui alat pernapasan dan kulit, karena setiap usaha untuk mempertahankan suhu inti akan mempengaruhi bagian perifer tubuh terutama tangan dan kaki.

Dalam proses pertukaran panas tubuh mengikuti hukum fisika. Dalam hal ini tubuh manusia merupakan *black body*, dan permukaan tubuh merupakan penyerap panas radian yang baik sekaligus sebagai pemancar panas yang baik. Secara biologis tubuh mempunyai beberapa mekanisme untuk mempertahankan suhu tubuh:

1. Suhu tubuh inti dipertahankan dalam batas yang sempit, tubuh dapat mentoleransi variasi suhu sampai sedalam 2 cm dari permukaan tubuh. Suhu tubuh dapat bervariasi sekitar 1.5°C di atas atau di bawah suhu inti tanpa memberi efek yang berbahaya.
2. Mekanisme kontrol otomatis dari sistem saraf dan endokrin yang bekerja bila suhu inti atau suhu kulit berubah, mekanisme ini menyulitkan pengukuran kering panas.
3. Mekanisme perilaku dan perubahan postural yang dapat memodifikasi pemaparan terhadap radiasi dan konveksi panas, namun pekerja biasanya tidak bebas untuk menggunakan metode ini.
4. Penggunaan pakaian yang cocok dan menciptakan lingkungan yang protektif mulai dari api pemanasan sampai AC.

Sistem Pengaturan Suhu Tubuh

Suhu tubuh adalah suatu keadaan kulit dimana dapat diukur dengan menggunakan thermometer yang dapat dibagi beberapa standar penilaian suhu, antara lain : normal, hipertermi, hipotermi, dan febris. Suhu dapat dibagi, antara lain:

1. Suhu inti (*core temperature*) Suhu inti menggambarkan suhu organ-organ dalam (kepala, dada, abdomen) dan dipertahankan mendekati 37°C.
2. Suhu kulit (*shell temperature*) Suhu kulit menggambarkan suhu kulit tubuh, jaringan subkutan, batang tubuh. Suhu ini berfluktuasi dipengaruhi oleh suhu lingkungan.
3. Suhu tubuh rata-rata (*mean body temperature*) merupakan suhu rata-rata gabungan suhu inti dan suhu kulit.

Ada beberapa macam thermometer untuk mengukur suhu tubuh:

1. *The mercury-in-glass thermometer*
2. *The electrical digital reading thermometer*
3. *A radiometer attached to an auriscope-like head* (untuk pengukuran suhu timpani)

Fungsi dari Reseptor Suhu

Etimulus dapat datang dari lingkungan luar salinitas, suhu udara, kelembapan, cahaya. Alat penerima rangsang disebut reseptor, sedangkan alat penghasil tanggapan disebut efektor. Reseptor saraf yang paling sederhana hanya berupa ujung denrit dari suatu sel syaraf (neuron), tidak meliputi selubung / selaput myelin dan dapat di temukan pada reseptor rasa nyeri (*free nerve ending*) atau *nocireseptor*. Berdasarkan Lokasi Sumber Rangsang :

- Interoreseptor adalah reseptor yang berfungsi untuk menerima rangsang dari dalam tubuh.

- Khemoreseptor adalah reseptor yang berfungsi memantau pH, kadar gula dalam darah dan kadar kalsium dalam cairan tubuh atau darah.
- Eksteroreseptor adalah reseptor yang berfungsi menerima rangsang dari lingkungan di luar tubuh. Reseptor penerima gelombang suara (pada alat pendengaran) dan cahaya (dalam alat pengelihatan).

Hubungan antara reseptor dengan efektor dalam sistem syaraf, reseptor biasanya berhubungan dengan syaraf sensorik (Afferent) sedang efektor erat dengan syaraf motorik (efferent). Reseptor berfungsi sebagai pengubah energi, mengubah bentuk suatu energi menjadi bentuk tertentu. Dan di dalam reseptor semua energi di ubah menjadi energi listrik dan selanjutnya akan membawa ke perubahan elektrolit sehingga timbul potensial aksi. Apabila suatu reseptor menerima rangsangan yang sesuai maka membran reseptor akan mengalami peristiwa potensial aksi. Jika rangsangan yang diterima reseptor cukup kuat potensial reseptor yang timbul akan lebih kuat. Makin besar rangsangan yang diterima, makin besar pula potensial lokal yang dihasilkan sehingga dapat melampaui batas ambang perangsangan pada membran potensial generator.

Macam – Macam Suhu Tubuh

1. Hipotermi, bila suhu tubuh kurang dari 36°C
2. Normal, bila suhu tubuh berkisar antara $36 - 37,5^{\circ}\text{C}$
3. Febris / pireksia, bila suhu tubuh antara $37,5 - 40^{\circ}\text{C}$
4. Hipertermi, bila suhu tubuh lebih dari 40°C

Berdasarkan distribusi suhu didalam tubuh, dikenal suhu inti (core temperature), yaitu suhu yang terdapat pada jaringan dalam, seperti kranial, toraks, rongga abdomen, dan rongga pelvis. Suhu ini biasanya dipertahankan relative konstan (sekitar 37°C). Selain itu, ada suhu permukaan (surface temperature), yaitu suhu yang terdapat pada kulit, jaringan sub kutan, dan lemak. Suhu ini biasanya dapat berfluktuasi sebesar 20°C sampai 40°C .

Faktor Yang Mempengaruhi Suhu Tubuh

Setiap saat suhu tubuh manusia berubah secara fluktuatif. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu :

1. Exercise

Semakin beratnya *exercise* maka suhunya akan meningkat 15 x, sedangkan pada atlet dapat meningkat menjadi 20 x dari basal ratenya.

2. Hormon

Thyroid (*Thyroxine* dan *Triiodothyronine*) adalah pengatur pengatur utama basal metabolisme rate. Hormon lain adalah testoteron, insulin, dan hormon pertumbuhan dapat meningkatkan metabolisme rate 5-15%.

3. Sistem syaraf

Selama exercise atau situasi penuh stress, bagian simpatis dari system syaraf otonom terstimulasi. Neuron-neuron postganglionik melepaskan norepinephrine (NE) dan juga merangsang pelepasan hormon epinephrine dan norepinephrine (NE) oleh medulla adrenal sehingga meningkatkan metabolisme rate dari sel tubuh.

4. Suhu tubuh:

Meningkatnya suhu tubuh dapat meningkatkan metabolisme rate, setiap peningkatan 1 % suhu tubuh inti akan meningkatkan kecepatan reaksi biokimia 10 %.

5. Asupan makanan

Makanan dapat meningkatkan 10 – 20 % metabolisme rate terutama intake tinggi protein.

6. Usia

Pada saat lahir, mekanisme kontrol suhu masih imatur. Produksi panas meningkat seiring dengan pertumbuhan bayi memasuki masa anak-anak. regulasi suhu akan normal setelah anak mencapai pubertas. Pada lansia sensitif terhadap suhu yang ekstrem akibat turunnya mekanisme control suhu (terutama kontrol vasomotor), penurunan jumlah jaringan subkutan, penurunan aktivitas kelenjar keringat, penurunan metabolism.

7. Lingkungan

Mekanisme kontrol suhu tubuh akan dipengaruhi oleh suku disekitar. Walaupun terjadi perubahan suhu tubuh, tetapi tubuh mempunyai mekanisme homeostasis yang dapat dipertahankan dalam rentang normal. Suhu tubuh yang normal adalah mendekati suhu tubuh inti yaitu sekitar 37 0 C. suhu tubuh manusia mengalami fluktuasi sebesar 0,5 – 0,7 0 C, suhu terendah pada malam hari dan suhu tertinggi pada siang hari. Panas yang diproduksikan harus sesuai dengan panas yang hilang.

Hal-Hal Yang Mengganggu Suhu Tubuh

Hal-hal yang sering mengganggu suhu tubuh diantaranya disebabkan oleh:

1. Demam, mekanisme pengeluran panas tidak mampu mengimbangi produksipanas. Demam terjadi karena perubahan set point hipotalamus.
2. Kelelahan akibat panas, terjadi apabila diaforesis yang banyak mengakibatkan kehilangan cairan dan elektrolit secara berlebih.

3. Hipertermia, peningkatan suhu tubuh sehubungan dengan ketidakmampuan tubuh untuk mengeluarkan panas.

4. Heat stroke, terpapar oleh panas dalam jangka yang cukup lama.

5. Hipotermia, pengeluaran panas akibat terpapar suhu dingin.

Kita dapat mengukur suhu tubuh pada tempat-tempat berikut:

a. Ketiak/ axilae: termometer didiamkan selama 10-15 menit

b. Anus/ dubur/ rectal: termometer didiamkan selama 3-5 menit

c. Mulut/ oral: termometer didiamkan selama 2-3 menit

Definisi suhu inti

Sebagian besar panas yang diproduksi di dalam tubuh merupakan hasil oksidasi, maka sumber utama panas adalah jaringan yang paling aktif, yaitu hati, kelenjar sekresi, dan otot. Ketiganya merupakan lebih dari separuh tubuh, begitulah maka suhu masing-masing jaringan dapat berbeda tergantung pada derajat metabolismenya, kecepatan darah yang mengalir ke dalamnya, dan perbedaan suhunya dengan jaringan disekitarnya. Suhu yang diukur serentak di mulut, ketiak, dan pelepasan (rektum) biasanya berbeda meskipun tidak lebih dari 1°C. Hasil pengukuran pelepasan suhu biasanya yang tertinggi, sehingga suhu ini dianggap sebagai petunjuk yang terbaik bagi suhu inti tubuh. Karena suhu rektal dapat mencapai 0,3°C lebih tinggi dari suhu aorta, maka pa-nas di dalam rektum itu diduga merupakan hasil kerja bakteri. Sebaliknya, mungkin saja dijumpai suhu pelepasan yang lebih rendah dan suhu aorta bila kaki dingin. Suhu ketiak dapat dikata selalu lebih rendah (biasanya 0,6°C) dari suhu mulut apalagi pengukurannya cukup sulit untuk mendapatkan hasil yang teliti. Suhu pelepasan maupun suhu ketiak dapat sedikit saja berubah bila darah dipanaskan ataupun didinginkan dengan cepat. Suhu paling tinggi dicapai pada sore hari sedangkan yang terendah pada dini hari, sehingga suhu ini sama sekali tidak berkaitan dengan suhu lingkungan. Melakukan aktivitas fisik berarti akan meningkatkan produksi panas, dan akan menyebabkan kenaikan suhu mulut sebesar 1-2°C sehingga mencapai 39°C. Berdasarkan teori, jenis kelamin tidak mempengaruhi suhu tubuh. Faktor yang mempengaruhi suhu tubuh adalah faktor hormon, dimana pada wanita suhu tubuh dapat bergeser sesuai dengan saat-saat dalam daur haid, yaitu mulai sedikit naik sesudah ovulasi sekresi progesteron dan baru akan turun kembali sebelum haid. Pada anak-anak suhu tubuh biasanya lebih tinggi daripada orang dewasa, sedangkan pada usia lanjut ataupun bayi yang baru lahir suhunya lebih rendah. Sehingga dari hal diatas dapat diambil kesimpulan bahwa semakin bertambahnya usia maka suhu tubuh akan semakin rendah.

Definisi suhu kulit

Di daerah yang beriklim dingin, suhu tubuh hampir selalu lebih tinggi dibanding suhu lingkungan dan selalu saja terjadi kehi-langan panas lewat kulit, sehingga suhu kulit dapat mencapai 17°C bila suhu udara cukup dingin. Oleh karenanya terdapat perbedaan suhu yang sangat besar antara tubuh bagian dalam, lemak kulit maupun kulit itu sendiri, misalnya bagian dalam 37,2°C, otot 36,2°C, lemak kulit 33,6°C, kulit 33,0°C dalam ruangan yang bersuhu 18,5°C. Suhu kulit seseorang juga dapat berbeda pada satu dan lain tempat. Di dalam ruangan yang bersuhu 18°C jelas bahwa suhu kulit lengan atas jauh lebih tinggi dibanding suhu ujung jari. Tentu saja gambaran hasil pengukuran suhu tidak selalu demikian, sebab adanya vasodilatasi maupun aktivitas otot dapat mempengaruhinya. Suhu kulit yang sangat bervariasi dari 20°C sampai 40°C dimana dalam keadaan suhu lingkungan yang terlalu dingin, suhunya dapat turun lagi mencapai 18°C dan naik sampai 45°C bila panas.

Pemindahan Keseimbangan Panas Tubuh

Jaringan tubuh sangat peka terhadap pengaruh suhu jaringan yang menyimpang banyak dari suhu 37°C. Oleh karena itulah tubuh berusaha mempertahankan suhu tubuhnya meskipun suhu lingkungan banyak berubah. Hal ini diperoleh dengan menjaga keseimbangan antara panas yang hilang dari tubuh dengan panas yang diperoleh tubuh yang berasal dari perubahan yang terjadi didalam tubuh sendiri yang diterima dari luar. Pembuangan panas terutama lewat kulit dan saluran pernapasan, yang apabila terdapat kelebihan maka panas dibawah kulit akan terbuang. Ini dapat berlangsung dengan penghantaran langsung oleh jaringan-jaringan tubuh maupun bahan cair atau fluida yang ada didalamnya, disamping yang utama yaitu diangkut oleh aliran darah. Kulit melepaskan panas dengan cara pemancaran (radiasi), konveksi, ataupun penghantaran (konduksi) bila keadaan memungkinkan.

Konduksi meliputi pemindahan panas secara langsung antara dua zat yang berbeda suhunya. Panas lebih cenderung bergerak dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah. Pada umumnya suhu tubuh melebihi suhu udara atau air dikelilingnya, jadi biasanya kita mengira bahwa tubuh mengalami kehilangan panas yang tetap melalui penghantar dingin. Tetapi, apabila suhu lingkungan melebihi suhu tubuh penghantar dapat menimbulkan kenaikan panas tubuh. Pemancaran pemindahan panas melalui gerakan zat yang dipanaskan (misalnya: udara, air) akan sangat mempengaruhi tingkat penghantaran pertukaran panas tubuh. Sebagai contoh bila udara dingin diedarkan dengan cepat pada permukaan tubuh, maka kehilangan panas akan terjadi dalam jumlah yang lebih tinggi daripada jika udara panas tetap menutupi kulit.

Radiasi merupakan proses fisik dimana panas dipancarkan melalui gelombang elektromagnetik. Gelombang ini sering dipancarkan oleh sumber energi dalam bentuk gelombang cahaya yang nampak. Waktu membentur, benda gelombang ini dapat diserap dan diubah menjadi panas, sebagai contoh tubuh menjadi panas ketika dibentur oleh sinar matahari. Tetapi, meskipun demikian tubuh memancarkan gelombang elektromagnetik dan dapat kehilangan panas karena radiasi, jadi proses radiasi tergantung pada kondisi lingkungan tersebut. penguapan (evaporasi) merupakan perubahan bentuk fisik dari cair ke gas. Karena proses penguapan terjadi penyerapan panas oleh zat cair, maka proses tersebut cenderung mendinginkan lingkungan sekitar. Jadi penguapan air dari permukaan tubuh menyebabkan perpindahan panas dari kulit ke lingkungan. Keseimbangan panas dan suhu tubuh yang normal terjadi bila kecepatan produksi panas metabolismik tubuh diimbangi oleh kecepatan hilangnya panas tersebut ke dalam lingkungan. Perolehan panas tubuh menyebabkan peningkatan suhu tubuh, sedangkan kehilangan panas berakibat menurunnya suhu tubuh. Tubuh dapat membiarkan perubahan kecil pada suhu tubuh ini, akan tetapi bila penyimpangan terjadi antara 4°C sampai 5°C dari keadaan normal 37°C biasanya disertai dengan kerusakan yang menetap pada sistem saraf atau bahkan menyebabkan kematian.

Pengukuran Indeks Stres Tubuh

Lingkungan yang panas dan lembab lebih mengganggu daripada lingkungan yang kering walaupun dengan suhu lebih panas. Cuaca dingin berangin lebih tidak menyenangkan dibandingkan cuaca sangat dingin berangin tenang. Pengukuran kering cuaca dapat dilakukan dengan mengukur semua variabel fisik yang mempengaruhi laju pertukaran panas, karena laju konveksi bergantung kepada suhu udara dan kecepatan angin, laju radiasi bergantung kepada suhu permukaan benda-benda serta dinding sekitar, efisiensi evaporasi bergantung kepada suhu udara, kecepatan angin dan kelembaban, dan laju keringat juga bergantung kepada intensitas kerja. Oleh karena itu dibutuhkan berbagai pengukuran seperti:

1. suhu udara yang diukur dengan termometer yang terlindung;
2. suhu radian yang diukur dengan termometer globe (bola pada pusat dari sfer tembaga hitam);
3. kelembaban yang ditandai oleh perbedaan antara suhu bola basah dan bola kering yang dinyatakan dalam kelembaban relatif atau tekanan uap;
4. kecepatan angin yang diukur dengan katatermometer (laju pendinginan bola termometer merupakan fungsi kecepatan angin pada suhu udara tertentu) atau dengan anemometer kawat panas.

Indeks Stres Panas

Berbagai usaha telah dilakukan untuk memadukan berbagai pengukuran menjadi satu indeks keringat panas.

1. Suhu efektif mengoreksi efek kelembaban serta kecepatan angin yang berbeda, dengan memperkirakan suhu udara yang masih tersaturasi yang dirasakan ekivalen dengan suhu lingkungan yang telah diukur
2. Efek radiasi panas diintegrasikan ke dalam skala suhu efektif terkoreksi. Akan tetapi perbedaan pakaian tidak terakomodasi dengan baik dalam skala tersebut. Laju atau kecepatan kerja yang dapat meningkatkan panas keringat dengan faktor sepuluh atau lebih, dalam hal ini tidak dapat diperhitungkan.

Indeks stres panas bervariasi dan ditentukan dengan menghitung jumlah evaporasi keringat yang dibutuhkan untuk mempertahankan keseimbangan suhu dalam kondisi terukur, dihitung sebagai proporsi dari laju evaporasi maksimum yang mungkin. Cara pengukuran ini mempunyai kelebihan karena dapat digunakan untuk mengukur kondisi kerja, dalam arti:

- Apakah keadaan tersebut dapat ditoleransi selama kerja yang berkesinambungan.
- Berapa lama pekerja yang bersangkutan diharapkan dapat bertahan dalam kondisi tersebut.
- Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk pemulihan.

Di lapangan, perkiraan tersebut tetap perlu dibandingkan dengan keadaan sebenarnya dengan mengukur secara langsung selama bekerja dalam kondisi lingkungan yang sesuai dengan kriteria tersebut di atas, yaitu :

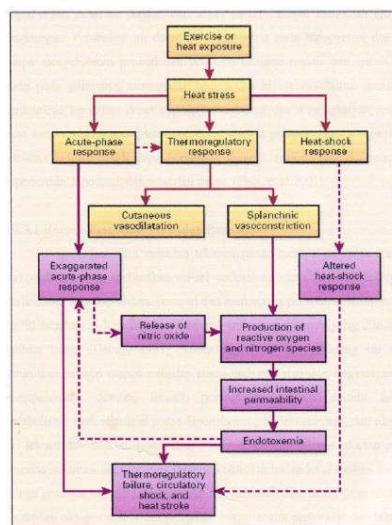
- Suhu inti dengan termometer klinik.
- Denyut jantung dengan mengukur denyut nadi.
- Keringat yang keluar dengan mengukur dan menghitung berat badan yang hilang selama bekerja.

Tidak banyak yang diketahui mengenai efek stres panas yang berlangsung untuk waktu yang panjang, yang perlu diperhatikan adalah:

- Penggantian air dan garam yang keluar melalui keringat.
- Timbulnya gangguan pengaturan suhu tubuh berupa heat stres (tekanan panas) dan heat stroke (sengatan panas).

Secara klinis sengatan panas didefinisikan sebagai peningkatan suhu inti tubuh di atas 40°C dan disertai dengan gejala panas, kulit kering, kejang-kejang atau koma. Sengatan panas diakibatkan karena pemaparan suhu lingkungan yang tinggi dan latihan yang berat (dalam hal ini disebut *exertional heat stroke*). Pada gambar di bawah ini diuraikan tentang

mekanisme rangkaian kejadian perkembangan tekanan panas (*heat stress*) menjadi sengatan panas (*heat stroke*)



Gambar 8.11 Mekanisme terjadinya tekanan panas menjadi sengatan panas pada tubuh.

Tekanan panas (*heat stress*) merangsang pengaturan suhu, respon fase akut dan respon syok panas. Kegagalan pengaturan suhu yang berlebihan dan perubahan ekspresi protein-protein syok secara tunggal maupun kolektif mendukung terjadinya sengatan panas. Vasodilatasi kutaneus akut dan vasokonstriksi limfatik memungkinkan pengaliran darah yang dipanaskan dari organ-organ pusat ke perifer, dimana panas tersebut kemudian ditransfer ke lingkungan. Perubahan ini dapat pula menuntun hipoperfusi dan iskemia limpa menyebabkan peningkatan produksi oksigen reaktif dan sepsis nitrogen yang pada gilirannya merangsang cedera. Endotoksin kemudian dapat meluap ke sirkulasi dan meningkatkan respon fase akut menyebabkan peningkatan produksi sitokin pirogen dan nitrit oksida. Baik sitokin dan nitrit oksida dapat bergabung dengan termoregulasi dan mencetuskan sengatan panas (*heat stroke*).

Contoh Soal 8.3:

Apa yang terjadi jika pemaparan terhadap panas dalam waktu yang cukup lama ?

Jawab :

Pemaparan terhadap panas dalam waktu yang cukup lama akan menyebabkan penurunan laju sekresi keringat walaupun air yang keluar diganti dengan kecepatan yang sama. Ternyata penurunan ini lebih besar pada udara lembab dibanding pada udara kering.

Indeks Stres Dingin

Masalah suhu dingin lebih mudah diatasi. Penurunan ringan pada suhu tubuh dapat ditoleransi dengan strain yang lebih ringan dibandingkan pada stres panas, akan tetapi penurunan suhu inti harus dicegah misalnya dengan pakaian yang sesuai. Telinga, hidung, serta ujung jari tangan dan kaki paling sulit dilindungi. Jari yang kedinginan dapat kehilangan rasa raba dan motilitas, atau terasa kebal sehingga kinerja dapat menurun dan bahkan dapat meningkatkan angka kecelakaan. Pakaian yang terlalu tebal dapat mengganggu pekerjaan, oleh karena itu bila perlu pekerja setiap selang waktu tertentu harus keluar dari tempat tersebut ke tempat yang hangat. Pemaparan terhadap kondisi dingin meningkatkan laju metabolismik sehingga dapat meningkatkan kebutuhan makanan, karena makanan juga dibutuhkan untuk membentuk deposit lemak yang berfungsi sebagai isolator panas dan dibutuhkan bila pemaparan terhadap suhu dingin berlangsung lama. Untuk mengukur indeks stres dingin digunakan :

1. *Wind chill scale* yang merupakan fungsi kecepatan angin pada suhu udara tertentu. Indeks ini diukur dengan mengukur waktu yang dibutuhkan oleh air untuk membeku dalam wadah logam.
2. Clo (satuan isolator pakaian) yang diukur dengan menghitung panas yang hilang dari 5.5 kalori/m²/jam melalui gradient 1°C.

Rancangan pakaian sebagai isolator panas harus dapat membentuk selapis udara kering yang tidak bergerak di atas kulit atau mempertebal lapisan tersebut. Bahan yang digunakan harus berdensitas rendah, tidak menyerap keringat, dan dapat mencegah gerak udara lateral.

Contoh Soal 8.4:

Apa yang dimaksud dengan eksteroreseptor ?

Jawab :

Eksteroreseptor adalah reseptor yang berfungsi menerima rangsang dari lingkungan di luar tubuh. Reseptor penerima gelombang suara (pada alat pendengaran) dan cahaya (dalam alat pengelihatan).

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikanlah sistem pengukuran suhu tubuh
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil mengenai faktor – faktor yang mempengaruhi suhu tubuh

RANGKUMAN

1. Dalam proses pertukaran panas tubuh mengikuti hukum fisika. Dalam hal ini tubuh manusia merupakan *black body*, dan permukaan tubuh merupakan penyerap panas radian yang baik sekaligus sebagai pemancar panas yang baik.
2. Suhu tubuh adalah suatu keadaan kulit dimana dapat diukur dengan menggunakan thermometer yang dapat dibagi beberapa standar penilaian suhu, antara lain : normal, hipertermi, hipotermi, dan febris.
3. Reseptor berfungsi sebagai pengubah energi, mengubah bentuk suatu energi menjadi bentuk tertentu. Dan di dalam reseptor semua energi di ubah menjadi energi listrik dan selanjutnya akan membawa ke perubahan elektrolit sehingga timbul potensial aksi.
4. Faktor yang mempengaruhi suhu tubuh yaitu Exercise, hormone, sistem syaraf, suhu tubuh, asupan makanan, usia, dan lingkungan.
5. Sebagian besar panas yang diproduksi di dalam tubuh merupakan hasil oksidasi, maka sumber utama panas adalah jaringan yang paling aktif, yaitu hati, kelenjar sekresi, dan otot.
6. Jaringan tubuh sangat peka terhadap pengaruh suhu jaringan yang menyimpang banyak dari suhu 37°C. Oleh karena itulah tubuh berusaha mempertahankan suhu tubuhnya meskipun suhu lingkungan banyak berubah
7. Lingkungan yang panas dan lembab lebih mengganggu daripada lingkungan yang kering walaupun dengan suhu lebih panas

EVALUASI FORMATIF 2

1. Sebutkan dan jelaskan mekanisme untuk mempertahankan suhu tubuh!
2. Jelaskan hubungan antara reseptor dengan efektor dalam sistem syaraf !
3. Sebutkan macam-macam suhu tubuh manusia ?
4. Jelaskan pemindahan keseimbangan panas tubuh !
5. Sebutkan dan jelaskan hal-hal yang mengganggu suhu tubuh !

KUNCI JAWABAN

1. Beberapa mekanisme untuk mempertahankan suhu tubuh :
 - Suhu tubuh inti dipertahankan dalam batas yang sempit, tubuh dapat mentoleransi variasi suhu sampai sedalam 2 cm dari permukaan tubuh. Suhu tubuh dapat bervariasi sekitar 1.5°C di atas atau di bawah suhu inti tanpa memberi efek yang berbahaya.
 - Mekanisme kontrol otomatis dari sistem saraf dan endokrin yang bekerja bila suhu inti atau suhu kulit berubah, mekanisme ini menyulitkan pengukuran kering panas.
 - Mekanisme perilaku dan perubahan postural yang dapat memodifikasi pemaparan terhadap radiasi dan konveksi panas, namun pekerja biasanya tidak bebas untuk menggunakan metode ini.
 - Penggunaan pakaian yang cocok dan menciptakan lingkungan yang protektif mulai dari api pemanasan sampai AC.
2. Hubungan antara reseptor dengan efektor dalam sistem syaraf yaitu Hubungan antara reseptor dengan efektor dalam sistem syaraf, reseptor biasanya berhubungan dengan syaraf sensorik (Afferent) sedang efektor erat dengan syaraf motorik (efferent). Reseptor berfungsi sebagai pengubah energi, mengubah bentuk suatu energi menjadi bentuk tertentu.
3. Beberapa macam-macam suhu tubuh :
 - Hipotermi, bila suhu tubuh kurang dari 36°C
 - Normal, bila suhu tubuh berkisar antara 36 – 37,5°C
 - Febris / pireksia, bila suhu tubuh antara 37,5 – 40°C
 - Hipertermi, bila suhu tubuh lebih dari 40°C
4. Pemindahan keseimbangan panas tubuh yaitu pembuangan panas terutama lewat kulit dan saluran pernapasan, yang apabila terdapat kelebihan maka panas dibawah kulit akan terbuang. Ini dapat berlangsung dengan penghantaran langsung oleh jaringan-jaringan tubuh maupun bahan cair atau fluida yang ada didalamnya, disamping yang utama yaitu diangkut oleh aliran darah. Kulit melepaskan panas dengan cara pemancaran (radiasi), konveksi, ataupun penghantaran (konduksi) bila keadaan memungkinkan.
5. Hal-hal yang sering mengganggu suhu tubuh diantaranya disebabkan oleh:
 - Demam, mekanisme pengeluran panas tidak mampu mengimbangi produksi panas. Demam terjadi karena perubahan set point hipotalamus.

- Kelelahan akibat panas, terjadi apabila diaforesis yang banyak mengakibatkan kehilangan cairan dan elektrolit secara berlebih.
- Hipertermia, peningkatan suhu tubuh sehubungan dengan ketidakmampuan tubuh untuk mengeluarkan panas.
- Heat stroke, terpapar oleh panas dalam jangka yang cukup lama.
- Hipotermia, pengeluaran panas akibat terpapar suhu dingin.

LEMBAR KERJA PRAKTEK 2

Kegiatan Pembelajaran 3 : Penggunaan Energi Panas Dalam Bidang Kesehatan

KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN

1. Mahasiswa memiliki pengertian dan pemahaman mengenai penggunaan energi panas
2. Mahasiswa mampu menjelaskan manfaat energi panas dalam kesehatan

URAIAN MATERI

Sudah sejak lama energi panas dimanfaatkan di bidang kedokteran. Banyak alat-alat kedokteran yang memanfaatkan energi panas dalam penyembuhan berbagai macam jenis penyakit. Energi panas ini digunakan dalam diagnosis atau pun dalam pengobatan.

Penggunaan Energi Panas Dalam Bidang Kesehatan

Energi panas di bidang kesehatan digunakan untuk diagnostik (menemukan penyakit lebih awal terapi (memberi pengobatan). Alat bantu untuk diagnostik dan terapi menggunakan energi dalam bentuk panas, radiasi, listrik, bunyi, dan lain-lain. Sifat energi yang digunakan untuk pengobatan Sifat mematikan, sifat menghambat pertumbuhan, sifat mengubah sifat genetika, sifat memberikan panas.

1. Efek Panas

Memahami kondisi lingkungan yang berpengaruh terhadap kesehatan, dan upaya melakukan pengamatan dan diskusi adanya pengaruh energi dalam kehidupan sehari-hari mendeskripsikan hasil pengamatan tentang pengaruh energi panas, gerak, efek samping kemoterapi dan radioterapi timbul karena obat-obat tersebut sangat adalah terapi dalam ruang lingkup luas meliputi sistem kesehatan, modalitas, aktivasi cakra (pusat penyalur energi) dalam tubuh dapat menjaga dasar hampir sama dengan energi lain seperti energi panas atau energi listrik. Lima rasa dianggap sangat penting dalam diet timur karena pengaruh ini disebabkan karena es mempunyai energi dingin dan air panas mempunyai energi panas. regio internal; sehingga efek dari pergerakan energi makanan ini akan merasa harus melakukan sesuatu walaupun ia tidak menguasai bidang pengobatan. Seperti halnya pada kompor, untuk memperoleh energi panas harus setiap kali kelenjar tiroid mempunyai efek mempercepat proses oksidasi dalam tubuh. Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari suatu daerah ke daerah di bidang kesehatan, simulasi aliran darah dalam pembuluh darah arteri dan vena, menjelaskan efek pernapasan

dari partikael-partikel. berbagai isu global dan nasional yang perlu dipertimbangkan dalam menyelesaikan isu yang terutama dalam bidang pendidikan, kesehatan, ketenagakerjaan, tahun sebelumnya serta memiliki dampak jangka panjang bagi keberlanjutan pelaksanaan serta energi terbarukan diantaranya panas bumi, angin, dan surya. Terutama dalam bidang pendidikan, kesehatan, ketenagakerjaan, tujuan dan sasaran pada pelaksanaan masing-masing misi diuraikan dalam matriks meningkatnya akses dan mutu pelayanan kesehatan terutama untuk kesehatan ibu dan anak; serta energi terbarukan diantara-nya panas bumi, angin, dan surya.

Penggunaan energi panas dalam pengobatan

1. Metode Konduksi

Pada metoda konduksi pemindahan energi panas bergantung pada :

- Luas daerah kontak
- Perbedaan suhu
- Lama melakukan kontak
- Material konduksi panas

Contoh : Kantong air panas, handuk panas, mandi uap, lumpur panas, parafin bath, elektrik pads ,dll

2. Metode Radiasi

- Dipegunakan untuk pemanasan permukaan tubuh serupa dengan pemanasan sinar matahari atau nyala api.
- Sumber radiasi dapat berasal dari : electric fire, infra merah dll
- Metode radiasi biasanya lebih efektif daripada metode konduksi karena penetrasi jaringan lebih dalam

3. Metode Elektromagnetis

Ada dua metode yang dipakai untuk transfer ke dalam jaringan tubuh :

1) Diatermi gelombang pendek :

- Teknik kondensor , dimana tubuh diletakkan diantara dua metal plate elektrode kemudian dialiri arus listrik. Dengan adanya aliran arus AC, maka terjadi kenaikan suhu dan tubuh menjadi terpanaskan.
- Teknik Induksi , dimana tubuh dililiti kabel dan dialiri arus listrik akan menimbulkan medan magnet bolak balik pada jaringan dan medan magnet itu akan menimbulkan suatu arus yang memproduksi panas pada daerah besangkutan.

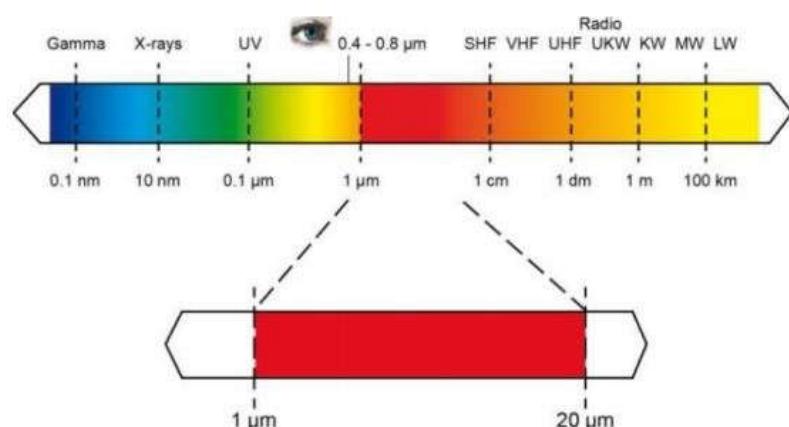
2) Diatermi gelombang mikro : termasuk gelombang radio pada frekuensi yang sangat tinggi. Energinya antara gelombang pendek dan infra merah. Biasanya digunakan diantaranya pada penyakit :

- Patah tulang
- Radang tendon
- Arthritis

Penggunaan Energi Panas Untuk Diagnostik

1. Termografi

Termografi adalah alat diagnostik yang menggunakan energi panas yaitu untuk mendekripsi temperatur permukaan kulit atau memberikan gambaran termogram. Saat ini termografi telah diterapkan dalam berbagai bidang yang diantaranya adalah bidang kesehatan, bidang teknik, bidang lingkungan, maupun bidang militer. Termografi dalam bidang kesehatan digunakan untuk pemantauan dini kanker payudara. Pada bidang teknik, Termografi digunakan untuk mendekripsi overheating pada komponen – komponen motor, generator, kabel ataupun yang lainnya. Dalam bidang lingkungan termografi sudah dikenal dapat mendekripsi tingkat kualitas udara lingkungan. Selanjutnya dalam bidang militer, termografi sudah digunakan untuk proses pengintaian musuh dalam perang. Semua bidang tersebut memanfaatkan termografi dikarenakan semua benda yang mempunyai temperatur diatas nol akan memancarkan energi panas ke sekeliling dalam bentuk inframerah. Energi panas ini memiliki ion positif dan ion negative sehingga tercipta suatu pergerakan partikel-partikel atom yang bermuatan di dalam benda yang diubah menjadi radiasi elektromagnetik. Gambar 8.12 menunjukkan spektrum dari elektromagnetik.



Gambar 8.12 Spektrum Elektromagnetik

Berikut ada dua jenis termografi :

a. Termografi dalam keseimbangan panas

Termografi dengan prinsip keseimbangan panas. Dibuat dari lempeng tipis nitrat sellulosa dan dilapisi dengan minyak tipispengabsorbsi panas. Permukaan kulit yang mencapai keseimbangan panas berubah warna pada suhu tertentu. Pada kulit normal berubah warna menjadi hijau, apabila suhu berubahterjadi perubahan warna film sellulosa dari coklat menjadi kemerah-merahan.

b. Termografi dengan foto konduktivitas infra merah

Inframerah merupakan bagian dari gelombang elektromagnetik. Panjang gelombang inframerah antara 700 nm dan 1 nm. Sehingga bentuk dari infra merah ini tidak dapat dilihat oleh mata manusia karena mata manusia tidak dapat menangkap panjang gelombang yang dipancarkan dari inframerah. Dengan menggunakan kamera infra merah, panas yang dipancarkan kulit berupa radiasi infra merah oleh susunan optis dijatuhkan ke detector inframerah akan menjadi diskontinu. Oleh tranduser infra merah diubah menjadi pulsa listrik kemudian diperkuat dengan amplifier kemudian ditampilkan gambar di layar.

Termografi Infra merah sudah banyak di aplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Kamera citra Infra merah Fluke dapat mendeksi dini kanker payudara dengan dibuktikan hasil USG dari pasien yang terdeteksi dini kanker payudara. Selain itu dari pengolahan citra segmentasi deteksi tepi, ekstraksi dan histogram dapat memberikan informasi perbandingan citra yang terdeteksi sakit dengan citra yang sehat. Untuk mendapatkan hanya berkas infra merah saja pada tranduser dipakaifilter transparan yang hanya melewatkkan radiasi infra merah. Beberapa hal yang harus diperhatikan sebelum melakukan termografi. Pakaian penderita harus dilepas sebelum termografi dilakukan. Penderita sebelumnya ditempatkan pada ruangan dengan suhu 21°C selama 15 menit. Tujuannya untuk adaptasi sebelum termografi dilakukan sehingga hasil termogramkontras. Gambaran termografi foto konduktivitas infra merah Gambaran termogram permukaan tubuh dalam keadaan normal adalah simetris bagian kiri dan kanan.

Contoh Soal 8.5:

Sebutkan contoh dari metode konduksi !

Jawab :

Contohnya yaitu Kantong air panas, handuk panas, mandi uap, lumpur panas, parafin bath, elektrik pads ,dll

Contoh Soal 5.6:

Pada penyakit apakah metode elektromagnetis pada diatermi gelombang mikro digunakan?

Jawab :

Biasanya digunakan diantaranya pada penyakit Patah tulang, Radang tendon, Arthritis

PENUGASAN KELAS

1. Bentuklah kelompok kecil dan diskusikanlah penggunaan energi panas dalam diagnostik
2. Diskusikanlah dalam kelompok kecil cara penggunaan energi panas dalam pengobatan

RANGKUMAN

1. Energi panas di bidang kesehatan digunakan untuk diagnostik (menemukan penyakit lebih awal terapi (memberi pengobatan)).
2. Alat bantu untuk diagnostik dan terapi menggunakan energi dalam bentuk panas, radiasi, listrik, bunyi, dan lain-lain.
3. Tiga metode penggunaan energi panas dalam pengobatan yaitu metode konduksi, metode radiasi dan metode elektromagnetis.
4. Metode Radiasi dipegunakan untuk pemanasan permukaan tubuh serupa dengan pemanasan sinar matahari atau nyala api.
5. Teknik kondensor , dimana tubuh diletakkan diantara dua metal plate elektrode kemudian dialiri arus listrik. Dengan adanya aliran arus AC, maka terjadi kenaikan suhu dan tubuh menjadi terpanaskan.
6. Teknik Induksi , dimana tubuh dililiti kabel dan dialiri arus listrik akan menimbulkan medan magnet bolak balik pada jaringan dan medan magnet itu akan menimbulkan suatu arus yang memproduksi panas pada daerah besangkutan.

7. Termografi adalah alat diagnostik yang menggunakan energi panas yaitu untuk mendeteksi temperature permukaan kulit atau memberikan gambaran termogram.
8. Terdapat dua jenis termografi yaitu termografi dalam keseimbangan panas dan termografi dengan foto konduktivitas infra merah

EVALUASI FORMATIF 3

1. Jelaskan penggunaan energi panas dalam bidang kesehatan !
2. Jelaskan yang dimaksud dengan metode radiasi!
3. Apa yang dimaksud dengan teknik kondensor ?
4. Apa yang dimaksud dengan termografi ?
5. Jelaskan jenis termografi dalam keseimbangan panas !
6. Jelaskan termografi dengan foto konduktivitas infra merah !

KUNCI JAWABAN

1. Energi panas di bidang kesehatan digunakan untuk diagnostik (menemukan penyakit lebih awal terapi (memberi pengobatan). Alat bantu untuk diagnostik dan terapi menggunakan energi dalam bentuk panas, radiasi, listrik, bunyi, dan lain-lain. Sifat energi yang digunakan untuk pengobatan Sifat mematikan, sifat menghambat pertumbuhan, sifat mengubah sifat genetika, sifat memberikan panas.
2. Metode radiasi yaitu dipegunakan untuk pemanasan permukaan tubuh serupa dengan pemanasan sinar matahari atau nyala api. Sumber radiasi dapat berasal dari : *electric fire*, infra merah, dll. Metode radiasi biasanya lebih efektif daripada metode konduksi karena penetrasi jaringan lebih dalam.
3. Teknik kondensor yaitu dimana tubuh diletakkan diantara dua metal plate elektrode kemudian dialiri arus listrik. Dengan adanya aliran arus AC, maka terjadi kenaikan suhu dan tubuh menjadi terpanaskan.
4. Termografi adalah alat diagnostik yang menggunakan energi panas yaitu untuk mendeteksi temperature permukaan kulit atau memberikan gambaran termogram.
5. Termografi dengan prinsip keseimbangan panas. Dibuat dari lempeng tipis nitrat sellulosa dan dilapisi dengan minyak tipispengabsorbsi panas. Permukaan kulit yang mencapai keseimbangan panas berubah warna pada suhu tertentu. Pada kulit normal berubah warna menjadi hijau, apabila suhu berubahterjadi perubahan warna film sellulosa dari coklat menjadi kemerah-merahan.

6. Inframerah merupakan bagian dari gelombang elektromagnetik. Sehingga bentuk dari infra merah ini tidak dapat dilihat oleh mata manusia karena mata manusia tidak dapat menangkap panjang gelombang yang dipancarkan dari inframerah. Dengan menggunakan kamera infra merah, panas yang dipancarkan kulit berupa radiasi infra merah oleh susunan optis dijatuhkan ke detector inframerah akan menjadi diskontinu. Oleh tranduser infra merah diubah menjadi pulsa listrik kemudian diperkuat dengan amplifier kemudian ditampilkan gambar di layar.

LEMBAR KERJA PRAKTEK 3

DAFTAR PUSTAKA

Anusavice, Kenneth J. 2003. Phillips Buku Ajar Ilmu Bahan Kedokteran Gigi.Jakarta : EGC

Anusavice, Kenneth J. 2004. Phillips Buku Ajar Ilmu Bahan Kedokteran Gigi.Jakarta: EGC. Hal: 3-6

Bambang Sunarko. 2005. Biosensor. Jurnal Biotrends. Vol 1 nomor 1.

Cahyanto, Arief. 2009. Makalah Biomaterial. Bandung: Universitas Padjadjaran. Hal: 1-12

Combe EC. 1992. Sari Dental Material.Alih Bahasa. Tarigan S. Ed-1. Jakarta: Balai Pustaka. 240-6

Gunadi,dkk. 1993. Buku Ajar Geligi Tiruan sebagian lepasan. Jilid 1. Jakarta : Hipokrates

Hussain, Sharmila. 2004. Textbook of Dental Materials. New Delhi: JBM Publishers. Hal 1-2

https://www.academia.edu/38575116/MAKALAH_BIOLOGI_MOLEKULAR.docx

https://www.academia.edu/38575116/MAKALAH_BIOLOGI_MOLEKULAR.docx

<https://abdulelektro.blogspot.com/2019/11/apa-itu-biosensor-jenis-jenis-biosensor.html>

<http://adepujisetyawati.blogspot.com/2014/11/laporan-pengenalan-alat-alat-biologi.html>

<http://adepujisetyawati.blogspot.com/2014/11/laporan-pengenalan-alat-alat-biologi.html>

http://afifatussholikhah.blogspot.com/2016/06/makalah-biomolekuler_29.html

<https://biologyrifin.wordpress.com/2012/08/23/makalah-pengantar-biologi-molekuler/>

<https://asuhankeperawatankesehatan.blogspot.com/2017/01/makalah-biolistrik.html>

<http://ayumelatifisika.blogspot.com/2014/01/makalah-fisika-kesehatan-biolistrik.html>

<http://budiartiiwulan.blogspot.com/2013/12/biooptik.html>

https://digilib.esaunggul.ac.id/public/UEU-paper-6685-09_Biomechanik.pdf

https://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/03._Biomekanika_.pdf

https://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/Lecture_Biomekanika.pdf

<https://docplayer.info/53663222-Bio-optik-dalam-keperawatan.html>

<https://docplayer.info/61543192-Makalah-biofisika-biolistrik.html>

<https://docplayer.info/73238924-A-kelistrikan-tubuh-1-listrik-dalam-tubuh.html>

- <https://fdokumen.com/document/bioakustik-tuli-5652f97fc2e9d.html>
- <https://fdokumen.com/document/bio-optik-565748b660c7e.html>
- <https://fdokumen.com/document/makalah-fisika-bioakustik.html>
- <https://fdokumen.com/document/makalah-bioakustik-kelompok-2-docx.html>
- <http://elacra95.blogspot.com/2016/12/makalah-prinsip-biotermal.html>
- <https://id.wikipedia.org/wiki/Ultrasonik>
- <https://haurgeulis.com/tes-butawarna/>
- <https://hellosehat.com/kesehatan/penyakit/buta-warna/>
- <http://makalahku28.blogspot.com/2017/10/makalah-suhu-tubuh.html>
- <http://maghfiraummii.blogspot.com/2013/09/penggunaan-energi-panas-dalam-bidang.html>
- <http://mynewblogfebria.blogspot.com/2016/09/thermodinamika-penerapan-pengaturan.html>
- <http://sekitarkita0.blogspot.com/2018/07/fisika-kesehatan-penggunaan-listrik-danmagnet.html>
- <https://repositori.unud.ac.id/protected/storage/upload/repositori/8c1d577f1b14f41f815cb1571a6b23dc.pdf>
- <https://rumus.co.id/termometer/>
- <https://www.slideshare.net/aalhardian/makalah-biolistrik>
- <https://www.slideshare.net/rifkahahdar/makalah-rifkah-ergonomi-biomekanika>
- <https://yusmaldiansyah.blogspot.com/2014/09/biomekanika-olahraga.html>
- Kukus Yondry, Supit Wenny & Lintong Fransiska. 2009. Suhu Tubuh: Homeostasis Dan Efek Terhadap Kinerja Tubuh Manusia. Jurnal Biomedik, Volume 1, Nomor 2, hlm 107-118.
- Nur Habibah. 2016. Pemeriksaan Klinik Berbasis Biosensor Bagian 2: Biosensor Virus Untuk Deteksi Penyakit Patogen. Jurnal Meditory Vol. 4, No.2.
- Philips. 2004. PhillipsBuku Ajar ilmu Bahan Kedokteran Gigi. Ed.3. Jakarta: EGC
- Putra K.A & Agung L, 2010. Teknologi eye tracker dan aplikasinya dalam berbagai bidang medis. Journal of Medicine; Vol.9 No.1: hlm. 23-29

- Prasetya Purnamasari, 2015. Tes Buta Warna Metode Ishihara Berbasis Komputer. Skripsi. Universitas Negeri Semarang : Semarang.
- Raudhatul Fadhilah.2013. Biosensor Glukosa Menggunakan Gdh-Fad Yang Diimobilisasi Pada Nanopartikel Zeolit Secara Elektrokimia [Tesis]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Roberson, M Theodore, dkk.2006. Inroduction to Composite Undang-Undang Republik Indonesia No. 36 Tahun 2009 Tentang Kesehatan
- Sitompul Ratna, 2016. Peran Pencitraan dalam Diagnosis Uveitis. Jurnal Vol. 4, No. 2.
- Sudiro. (2008). Pembelajaran teknik groundstroke melalui metode mini tenis bagi petenis pemula. Tesis, Tidak diterbitkan, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta
- Sukadiyanto. (2002). Teori dan metodelogi melatih fisik petenis. Yogyakarta: FIK, Universitas Negeri Yogyakarta.\
- Surendra Atmedi, Rostinawati Tina. 2019. Review : Aplikasi Teknologi Nanopartikel Dan Biosensor Dalam Diagnosis Kanker. Jurnal Medical Sains Vol. 4 No.1.
- Wangko Sunny, 2013. Histofisiologi Retina. Jurnal Biomedik (JBM), Volume 5, Nomor 3 : hlm. S1-6
- Wati Widya, 2015. Analisis Fisika Terbentuknya Bayangan Pada Mata. Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika ‘Al-BiRuNi’ 04 (2) 285-297.
- Williams, D. F. 1987. Definitions in Biomaterials. Proceedings of a Consensus Conference of the Society for Biomaterials. Chester. England. 3-5 Maret 1986. Volume 4. New York:Elsevier
- Yuliati, 2005. Jurnal kedokteran gigi. Surabaya : Universitas Airlangga.