

1 - Mengapa Biologi Penting di Teknik Fisika

karena **banyak aplikasi rekayasa modern** berhubungan langsung dengan **tubuh manusia, lingkungan, dan sumber daya hayati**.

Contohnya:

- Desain sensor biometrik dan medis
- Pemodelan sistem biologis
- Energi terbarukan dari biomassa
- Kontrol lingkungan berbasis ekologi
- Teknologi keberlanjutan (sustainable engineering)

2. A. a. Sistem Pada Tubuh Manusia

Sistem Otot	Berfungsi menghasilkan gerakan tubuh. Mengubah energi kimia menjadi energi mekanik.
Sistem Kerangka (Tulang Belulang)	Memberi bentuk dan struktur tubuh serta melindungi organ vital. Terlibat dalam mekanika gaya dan pergerakan tubuh (konsep fisika terapan).
Sistem Kardiovaskular	Terdiri dari jantung, arteri, dan vena. Mengedarkan oksigen, nutrisi, dan produk metabolisme. Menjaga suhu tubuh dan keseimbangan internal.
Sistem Pencernaan	Mencerna dan menyerap nutrisi dari makanan serta membuang limbah.

3. E. Konsep dan Prinsip Fisis Penting Lainnya

Kestimbangan (Equilibrium)

Saluran Eustachius menyeimbangkan tekanan telinga, hidung, dan mulut

Energi & Kerja

Beruang makan banyak sebelum hibernasi untuk menyimpan energi

Transfer Kalor

Bison merontokkan bulu untuk mengatur suhu; koala memeluk batang pohon (lebih dingin 7°C) untuk mendinginkan diri.

Mekanika Fluida

Aliran darah, gerak mikroba, penyumbatan pembuluh (stroke).

Kelistrikan Biologis

Aktivitas otak → sinyal listrik; contoh: kursi roda dikendalikan gelombang otak

5. D. Kestimbangan Kimia dan Reaksi Bio

Reaksi kimia mengikuti bentuk:



Eksotermik

menghasilkan panas

Endotermik

menyerap panas

$$\text{Kestimbangan (K)} = \frac{[\text{produk}]^p [\text{produk}]^q}{[\text{reaktan}]^m [\text{reaktan}]^n}$$

Reaksi biologis seperti pencernaan dan respirasi **berlangsung dalam kondisi kesetimbangan dinamis**.

Faktor fisik (T & P) mempengaruhi arah reaksi (hukum Le Chatelier).

5. F. Air dan Sifat Kimiawi Penting

Molekul polar dengan sudut 104,5° antara H-O-H → oksigen negatif, hidrogen positif.

Hidrofilik: menarik air (zat polar, seperti garam, gula).

Hidrofobik: menolak air (zat nonpolar, seperti lemak).

Air adalah pelarut biologis utama dan membentuk ikatan hidrogen → alasan air punya titik didih tinggi & struktur stabil.

4. G. Prinsip Informasi dalam Biologi

Informasi merupakan **keteraturan** dan dasar **komunikasi biologis**.

Teorema Informasi Shannon:

Menjelaskan hubungan antara **konten informasi** dan **probabilitas kemunculan sinyal**.

Dalam konteks biologi, agar organisme dapat bertahan hidup, ia harus mampu:

1. **Mendeteksi** informasi dari lingkungan.
2. **Memproses dan menyeleksi** informasi penting (memisahkan sinyal dari *noise*).
3. **Merespons** informasi melalui berbagai mekanisme:

Kimiawi: sinyal hormon, neurotransmitter, senyawa biokimia.

Elektrikal: impuls saraf (aksi potensial).

Genetik: kode DNA menentukan respon spesifik.

4. F. Model Matematis Sistem Biologis

Sistem biologis sering dinyatakan dalam **persamaan diferensial orde-1 dan orde-2**:

Orde-1: menggambarkan perubahan langsung terhadap waktu (misal laju pertumbuhan). **Orde-2**: melibatkan percepatan atau osilasi (misal gerak otot atau denyut jantung). Banyak sistem biologis bersifat **nonlinier**, sehingga membutuhkan **pendekatan numerik**.

Makna penting: kontrol biologis memastikan sistem tubuh berfungsi stabil dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

4. D. Peran Kalkulus

Kalkulus digunakan untuk menggambarkan perubahan dan laju proses biologis, seperti:

Pertumbuhan sel → perubahan jumlah sel terhadap waktu. *Aliran darah/udara* → perubahan volume (dV/dt) terhadap waktu. *Kerja fluida* → perhitungan energi untuk menggerakkan darah atau udara.

Integral digunakan untuk:

Menentukan *luas di bawah kurva* (misal: total energi atau volume). Menghitung *kerja sistem biologis* seperti pernapasan dan sirkulasi darah.

3. B. Prinsip Fisika dalam Memahami Unit Biologis

Prinsip Fisika	Makna Biologis
Potensial tinggi → rendah	Aliran zat, energi, dan ion terjadi karena perbedaan potensial. Contoh: impuls saraf
Keteraturan butuh energi	Organisme mempertahankan ketertiban internal dengan energi. Contoh: MRI
Yang masuk tapi tidak keluar disimpan	Prinsip konservasi energi. Contoh: surplus kalori
Energi dapat menjadi kerja mekanik	Contoh: berlari menggunakan energi kimia
Transfer bergantung luas permukaan & jarak	Contoh: pertukaran O ₂ -CO ₂ di alveoli
Kekuatan mekanik tergantung bentuk & material	Contoh: batang pohon besar harus lebih kuat
Gaya tak seimbang menimbulkan percepatan	Contoh: cicak menempel di dinding karena gaya Van der Waals
Kalor: bentuk energi universal	Contoh: pengaturan suhu tubuh
Tekanan hidrostatik sama ke segala arah	Contoh: dinding sel mikroba
Fluida butuh energi untuk mengalir	Contoh: jantung memompa darah

3. B. Prinsip Fisika dalam Memahami Unit Biologis (cont)

2. E. Allometri dan Antropometri

Allometri (Allometry)

Kajian hubungan antara ukuran tubuh dengan karakteristik biologis. Misalnya: hubungan ukuran otak ↔ ukuran tubuh. Koefisien allometri (α) menunjukkan pola pertumbuhan relatif: $\alpha \approx 1$ → pertumbuhan seimbang (isometrik). $\alpha < 1$ → pertumbuhan organ lebih lambat dari tubuh (hypoallometrik).

Antropometri (Anthropometry)

Berasal dari Yunani: anthropos (manusia) + metron (ukuran). Mengukur dimensi dan proporsi tubuh manusia untuk: Biomekanika: menghitung momen inersia tubuh. Nutrisi & Kesehatan: memantau pertumbuhan dan risiko penyakit. Desain produk/ergonomi: ukuran alat, pakaian, dan lingkungan kerja.

2. D. Skala dan Satuan dalam Biologi

Biologi bekerja pada multiskala, dari nanometer (nm) hingga meter (m):

Molekul → Sel → Jaringan → Organ → Organisme

Pengetahuan tentang skala ini penting dalam rekayasa bioteknologi (misal: sensor mikro, jaringan buatan).

1. B. Keterkaitan dengan SDGs

Kesehatan & kesejahteraan	pengendalian penyakit, kualitas hidup.
Lingkungan	pengendalian polusi, pelestarian ekosistem.

1. B. Keterkaitan dengan SDGs (cont)

Energi bersih	bioenergi.
Pangan	produktivitas sumber hayati nabati & hewani.

2. A. b. Sistem-Sistem pada Tubuh Manusia

Sistem Imun dan Limfa	Melindungi tubuh dari patogen melalui peredaran limfa.
Sistem Respirasi	Mengatur pertukaran gas (O ₂ dan CO ₂).
Sistem Reproduksi	Berperan dalam produksi keturunan.
Sistem Urinari	Menyaring darah, membuang limbah dalam bentuk urin.
Sistem Endokrin	Mengatur fungsi tubuh lewat sekresi hormon (chemical messenger).
Sistem Integumen & Eksokrin	Meliputi kulit, rambut, kuku, pelindung dari faktor eksternal, dan pembuangan keringat.
Sistem Syaraf	Mengatur koordinasi dan komunikasi internal tubuh, memproses informasi dari sensor tubuh.

2. F. Body Mass Index, BMI

Indikator umum untuk menilai status gizi dan risiko obesitas.

$$\text{BMI} = \frac{\text{berat (kg)}}{(\text{tinggi(m)})^2}$$

Namun, *tidak akurat secara mutlak* — karena tidak membedakan antara lemak dan massa otot.

Misal: atlet binaraga bisa memiliki BMI tinggi tetapi tubuh sehat.

5. A. Prinsip Umum Kimia dalam Sistem Biologi

Beberapa prinsip kimia mendasar yang relevan dengan kehidupan:

1. *Sifat periodik unsur* menentukan reaktivitas dan fungsi biologis.
2. *Ikatan kimia* membentuk struktur molekul kehidupan.
3. *Reaksi kimia* dalam tubuh berlangsung spontan bila melepaskan energi.
4. *Laju reaksi* tergantung pada suhu, tekanan, dan konsentrasi zat.
5. *Keseimbangan reaksi* menentukan arah dan kestabilan sistem biologis.
6. *Reaksi antara (intermediate)* sangat penting dalam metabolisme dan respirasi sel.

2. C. Satuan dalam Dunia Medis dan Biologi

Temperatur: °C

Tekanan darah: mmHg (bukan Pascal)

Tinggi: cm/inch

Berat: kg/lb

Denyut jantung: bpm

Konversi penting:

$$1 \text{ mmHg} = 133,322 \text{ Pa}$$

$$\text{Tekanan darah } 120/80 \text{ mmHg} \approx 15.998 \text{ Pa} / 10.666 \text{ Pa}$$

4. E. Sistem Kontrol dalam Biologi

Setiap organisme memiliki *mekanisme pengendalian (control system)* untuk menjaga keseimbangan fisiologis.

Komponen kontrol:

1. **Sensor** – mendeteksi perubahan (misal suhu tubuh).
2. **Pemroses (controller)** – menilai perubahan dan menentukan respon.
3. **Efektor (aktuator)** – menghasilkan tindakan korektif.

Jenis Umpan Balik (Feedback):

- Negatif feedback:** menjaga *homeostasis*, misal pengaturan suhu tubuh.
- Positif feedback:** memperkuat respon hingga mencapai tujuan, misal **kontraksi persalinan** akibat peningkatan hormon oksitosin.

Makna penting: kontrol biologis memastikan sistem tubuh berfungsi stabil dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

5. C. Unsur Esensial Kehidupan

Unsur Esensial untuk Kehidupan:	Makroelemen: C, H, O, N, S (penyusun tubuh dan organ) Makromineral: Na, Mg, K, Ca, Cl, P (ion tubuh & pembentuk tulang/DNA). Trace elements: Fe, Zn, Cu, I, Si — dibutuhkan sedikit, tapi vital (enzim & hormon).
---------------------------------	---

5. C. Unsur Esensial Kehidupan (cont)

Unsur *Pb (timbal)* → racun saraf. As berbahaya: *(arsenik)* → menggantikan fosfor dalam DNA → berakibat fatal. Isotop radioaktif → bisa menggantikan unsur biologis dan menumpuk di tulang.

4. A. Matematika, Sains, dan Biologi

Matematika adalah *bahasa universal rekayasa* - termasuk untuk memahami *biologi*. Dalam rekayasa, hampir semua sistem biologis dapat dimodelkan melalui:

Hukum fisika (misal: perpindahan kalor, fluida, gaya, listrik). *Model matematis* (misal: persamaan diferensial, teori kontrol, statistik).

Biologi dan teknik berbagi pendekatan yang sama:

Menganalisis *hubungan sebab-akibat* antar variabel (energi, massa, informasi). Menyusun *model prediktif* untuk fenomena kehidupan.

Kesimpulan penting: matematika memungkinkan kita *memformalkan dan memprediksi* fenomena biologis yang kompleks.

3. D. Parameter Fisis dalam Biologi

Resistansi (Resistance)

Perbandingan antara effort dan flow, menggambarkan hambatan terhadap aliran energi, massa, atau fluida. Contoh: aliran air antar tangki tergantung beda tekanan dan tahanan pipa;

3. D. Parameter Fisis dalam Biologi (cont)

Kapasitas (Capacity)

Kemampuan sistem untuk menyimpan aliran (energi, zat, individu) dalam waktu tertentu. Contoh biologis: daya dukung lingkungan (carrying capacity)

Inersia (Inertia)

Resistansi terhadap perubahan aliran. Contoh: tubuh tidak bisa langsung berlari dari posisi diam; butuh waktu untuk akselerasi hingga konstan.

Effort Required

Usaha atau energi yang diperlukan untuk mengatasi resistansi dan inersia. Misal: kerja jantung melawan resistansi pembuluh darah

5. G. Asam dan Basa dalam Biologi

Asam: donor proton (H^+). **Basa:** *akseptor proton* (OH^-). $pH = -\log[H^+]$ → menentukan keasaman sistem biologis.

Pengaruh pH:

Enzim bekerja optimal pada pH tertentu. Perubahan pH 0,1 saja bisa mengubah **distribusi oksigen darah**. (pH darah normal = 7,4). Diatur oleh sistem **buffer** H_2CO_3/HCO_3^- dan **pengeluaran CO_2** lewat pernapasan.

3. A. Hubungan antara Bio, Fis, Rekayasa

Makhluk hidup atau unit biologis (*Biological Unit – BU*) seperti sel, organ, organisme, hingga populasi bekerja mengikuti hukum-- hukum fisika.

3. A. Hubungan antara Bio, Fis, Rekayasa (cont)

Namun, biologi *tidak dapat* dijelaskan sepenuhnya hanya dengan hukum fisika dan kimia, karena kehidupan memiliki **prinsip organisasi sistemik yang lebih tinggi** — misalnya pengaturan diri, metabolisme, dan adaptasi.

Kesimpulan utama: untuk memahami kehidupan, diperlukan pendekatan interdisipliner yang memadukan fisika, kimia, dan prinsip sistem biologis.

2. G. b. Organisasi Kehidupan

Tingkat Organisme

Organisme adalah individu hidup lengkap hasil kerja sama semua sistem organ.

Tingkat Populasi

Sekumpulan organisme sejenis yang hidup dalam waktu dan tempat yang sama serta dapat berkembang biak.

Tingkat Komunitas

Gabungan dari berbagai populasi makhluk hidup yang hidup di wilayah yang sama dan saling berinteraksi.

Tingkat Ekosistem

Tersusun dari komponen biotik (makhluk hidup) dan abiotik (lingkungan fisik) yang saling mempengaruhi.

Aplikasi Biologi dalam Rekayasa dan Teknologi

Biosensor & Bioteknologi	Biosensor elektrokimia dan SPR dikembangkan untuk mendeteksi penyakit serta wearable biosensor digunakan untuk pemantauan kesehatan real-time.
--------------------------	--

Aplikasi Biologi dalam Rekayasa dan Teknologi (cont)

Simulasi & Rekayasa Biomedis: Simulasi, alat uji, analisis sinyal otot, dan 3D printing dimanfaatkan untuk diagnosis dan terapi medis.

Bioakustik dan Biopencapaian: Kajian pendengaran dan sensitivitas mata diterapkan dalam teknik akustik dan pencahayaan.

Rekayasa Lingkungan dan Energi: Simulasi udara, ovitrap IoT, dan sistem PLTS-Biogas dikembangkan untuk kesehatan lingkungan dan energi berkelanjutan.

Teknologi Wearable dan IoT: Smartwatch bersensor biologis memantau tubuh secara non-invasif melalui integrasi biologi dan teknologi digital.

2. B. Parameter Ukur Tubuh Manusia

Parameter	Satuan Umum (SI / Medis)
Tekanan (darah)	Pascal (Pa) atau mmHg
Suhu tubuh	°C (Celsius) atau K (Kelvin)

2. B. Parameter Ukur Tubuh Manusia (cont)

Aliran darah / udara: m³/s atau L/min

Dimensi tubuh (panjang, luas, volume): m, m², m³

Perpindahan, kecepatan, gaya (gerak tubuh): m, m/s, N (Newton)

Impedansi (hambatan listrik jaringan): Ohm (Ω)

Biopotensial (aktivitas listrik otot/syaraf): Volt (V), umumnya μV–mV

Konsentrasi kimia (ion, glukosa, dll.): mol/L atau mg/dL

1 - Mengapa Biologi Penting di Teknik Fisika

karena **banyak aplikasi rekayasa modern** berhubungan langsung dengan **tubuh manusia, lingkungan, dan sumber daya hayati**.

Contohnya:

- Desain sensor biometrik dan medis
- Pemodelan sistem biologis
- Energi terbarukan dari biomassa
- Kontrol lingkungan berbasis ekologi
- Teknologi keberlanjutan (sustainable engineering)

4. F. Prinsip Optimisasi dalam Biologi

Organisme selalu berusaha **menghemat energi dan sumber daya**. Karena sumber daya terbatas, sistem biologis harus **memaksimalkan efisiensi**.

Konsep Optimisasi:

Sistem biologis sering **tidak optimal tunggal**, karena banyak kriteria harus dioptimalkan bersamaan (misal kecepatan, kekuatan, dan daya tahan).

4. F. Prinsip Optimisasi dalam Biologi (cont)

Tujuan biologis: **bertahan hidup dengan biaya energi minimum****.

Optimalisasi bisa berarti:

Meminimalkan pengeluaran energi.

Memaksimalkan hasil (misal pertumbuhan, reproduksi, efisiensi metabolisme).

Contoh: tubuh mengatur metabolisme agar tidak membuang energi berlebihan saat istirahat atau lapar.

5. B. Sifat Periodik

Disusun berdasarkan *nomor atom* (grup 1-18, periode 1-7). Klasifikasi unsur: logam, nonlogam, metaloid, halogen, gas mulia, transisi, dll.

Tren periodik:

Elektronegativitas ↑ dari kiri ke kanan.

Ukuran atom ↑ dari atas ke bawah.

Unsur kiri → mudah melepaskan elektron (kation). * Unsur kanan → cenderung menarik elektron (anion).

4. C. Konsep Probabilitas dalam Biologi

Biologi selalu mengandung *unsur keacakan (randomness)*. Tidak ada dua makhluk hidup atau pengukuran biologis yang identik.

Dengan *probabilitas*, variasi dapat dikelola:

Hasil pengukuran dapat digambarkan dengan *distribusi probabilitas* (misal: normal/Gaussian). Semakin besar variasi → semakin sulit menarik kesimpulan yang signifikan. Probabilitas membantu memperkirakan peluang suatu kejadian biologis terjadi.

5. E. Ikatan Kimia dalam Sistem Biologis

Ionik

Transfer elektron dari donor → akseptor (misal: NaCl). Ion membawa arus listrik biologis.

Kovalen

Berbagi elektron antaratom nonlogam. Kuat & stabil (contoh: H₂O, protein).

Hidrogen Jembatan

Jembatan antara atom bermuatan sebagian (H⁺ ke O⁻/N⁻). Menentukan struktur DNA & protein.

Van der Waals

Gaya lemah antara molekul nonpolar atau dipol sementara. Penting untuk interaksi antarprotein.

Metallic

Berbagi elektron di antara logam; jarang di sistem biologis.

4. B.

Model matematika membantu menggambarkan perilaku sistem biologis seperti penyebaran penyakit, pertumbuhan sel, atau aliran darah.

Model ini adalah *idealisasi* (tidak sepenuhnya realistis), tetapi *tetap bermanfaat* untuk memahami prinsip dan membuat prediksi.

Statistika dan probabilitas digunakan untuk mengelola variasi dan ketidakpastian alami pada sistem biologis.

3. F. Integrasi BioFis dalam Rekayasa

Fisika memungkinkan rekayasa sistem biologis dengan pendekatan kuantitatif:

Lingkungan dan adaptasi: analisis suhu, tekanan, dan transfer energi. **Bioenergetika:** perhitungan efisiensi metabolisme dan kerja otot. **Biomekanika:** analisis gerak, kekuatan, tekanan tubuh. **Bioinstrumentasi:** pengukuran sinyal biopotensial, aliran darah, dan gaya otot.

Biologi modern di bidang teknik fisika memandang makhluk hidup sebagai sistem termodinamika kompleks yang memproses energi, massa, dan informasi untuk mempertahankan hidup.

3. C. Effort dan Flow Variables

Effort variable → penyebab gerak (gaya, tekanan, suhu).

Flow variable → respon terhadap effort (kecepatan, aliran, laju).

Fenomena	Effort	Flow
Berlari	Gaya otot	Kecepatan
Suhu tubuh	Perbedaan suhu lingkungan	Kehilangan panas
Reproduksi	Ketertarikan seksual	Perkawinan
Makan	Rasa lapar	Aktivitas makan

5. H. Laju Reaksi dan Energi Aktivasi

Reaksi terjadi jika partikel **bertumbukan dengan energi cukup**.

Energi aktivasi (E_a): penghalang energi yang harus dilampaui agar reaksi berjalan. *

Enzim dan katalis

menurunkan E_a → mempercepat reaksi tanpa dikonsumsi.

Kinetika Michaelis-Menten: menjelaskan hubungan antara kecepatan reaksi dan konsentrasi substrat.

$$v = \frac{V_{\max}[S]}{K_m + [S]}$$

Semakin kecil K_m → enzim semakin efisien mengikat substrat.

2. G. Organisasi Kehidupan

Tingkat Molekul

Dasar dari semua struktur biologis. Tersusun dari *atom-atom unsur kimia*.

Tingkat Sel

Sel adalah **unit terkecil kehidupan** yang mampu melakukan semua fungsi biologis (metabolisme, reproduksi, respons terhadap rangsang).

Tingkat Jaringan (Tissue)

Sekelompok **sel sejenis** yang bekerja sama melakukan fungsi tertentu.

Tingkat Organ

Organ terbentuk dari beberapa jaringan berbeda yang bekerja sama.

Tingkat Sistem Organ

Beberapa organ yang saling bekerja sama membentuk **sistem organ** untuk fungsi tubuh tertentu.

Tiap tingkat bergantung pada **tingkat di bawahnya** untuk menjalankan fungsi kehidupan.

Molekul → menyusun sel.

Sel → membentuk jaringan.

Jaringan → membentuk organ

Organ → membentuk sistem organ.

Sistem organ → membentuk organisme.