

BIOKIMIA

Copyright © 2025

Penulis:

Dr. Hj Dine Agustine, S.Si., M.Si.
Dr. syahran wael, M.Si. Med
Dr. Risa Purnamasari, S.Si., M.Si.
Rafiah Mahmudah, S. Si., M. Si
Siti Fadilah, S.Si., M.si
Prof. Dr. Hermalina Sinay., S.Pd., M.Si.
Fauziansyah, S.P., M.P.
Ulfah Zakiyah Hamdani, S.Pd., M.Sc.
Rizmahardian Ashari Kurniawan, Ph.D.
Dr.Rauza Sukma Rita, Ph.D.
Dr. Agus Suprpto, S.P., M.P., IPM.
Dr. Dra. Trini Suryowati, M.Si.
Mega Sari Juane Sofiana, S.Si., M.Sc.

Editor:

Dr Hj Dine Agustine, S.Si., M.Si
Dr. Agus Suprpto, S.P., M.P., IPM

Setting Layout:

Melati Dyah Ayu Ningrum

Desain Sampul:

Rizal Setiana

ISBN: 978-623-508-665-1

IKAPI: 435/JBA/2022

Ukuran: 15,5 cm x 23 cm; ix + 219 hlm

Cetakan Pertama, Mei 2025

Hak cipta dilindungi Undang-undang dilarang memperbanyak karya tulis dalam bentuk dan dengan cara apa pun, tanpa izin tertulis dari penerbit

Penerbit:

CV. Mega Press Nusantara

Alamat Redaksi:

Komplek Perumahan Janatipark III, Cluster Copernicus Blok D-07, Cibeusi, Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45363

0821-7048-2034

www.megapress.co.id

penerbitmegapress@gmail.co



12

BAB 12: METABOLISME & HORMON

A. Pendahuluan

Rangkaian reaksi yang kompleks dan terjadi dalam sel-sel organisme manusia, hewan maupun tumbuhan disebut metabolisme. Tujuan proses reaksi ini untuk mendapatkan energi yang sangat dibutuhkan oleh tubuh, dalam menjaga kehidupan dan kesehatan sel serta menjalankan fungsi tubuh. Rangkaian proses yang terjadi adalah reaksi kimia di dalam sel, diawali dengan proses pencernaan makanan atau zat gizi makro berupa karbohidrat, lemak dan protein menjadi molekul kecil.

Molekul kecil hasil pencernaan akan di bawa masuk ke dalam sel, dan selanjutnya terjadi rangkaian reaksi metabolisme yang diperlukan untuk pertumbuhan, perbaikan jaringan dan pembuangan sisa-sisa metabolisme.

Asupan bahan makanan seperti karbohidrat, lemak dan protein akan memasuki proses pencernaan, dan akan menghasilkan molekul-molekul kecil yaitu glukosa, asam lemak dan asam amino. Molekul - molekul kecil tersebut akan dibawa masuk ke dalam sel dan rangkaian reaksi metabolisme untuk menjadi energi (ATP) yang sangat dibutuhkan manusia. Energi ini berguna antara lain untuk aktivitas otot, memelihara membran potensial pada sel saraf, sekresi kelenjar, komunikasi antar sel. Protein akan dipecah menjadi asam amino yang sangat dibutuhkan dalam pembentukan jaringan baru, demikian juga asam lemak juga sangat berarti dalam produksi energi dan berperan dalam struktur membran (Wali et al., 2021).

Metabolisme yang terjadi di dalam tubuh manusia dapat dibedakan menjadi tiga (3) kategori yaitu anabolisme, katabolisme dan *amfibolik*. Pemahaman tentang mekanisme anabolisme adalah proses pembentukan senyawa kompleks, yang berasal dari senyawa kecil dan sederhana disertai dengan penggunaan energi. Mekanisme reaksi katabolisme adalah fase degradasi atau pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa yang kecil dan sederhana, disertai pelepasan energi. Sedangkan lintasan reaksi *amfibolik* merupakan proses yang menghubungkan anabolik dan katabolik. Dua lintasan anabolik dan katabolik berlangsung bersamaan di dalam tubuh manusia (Barret et al., 2016).

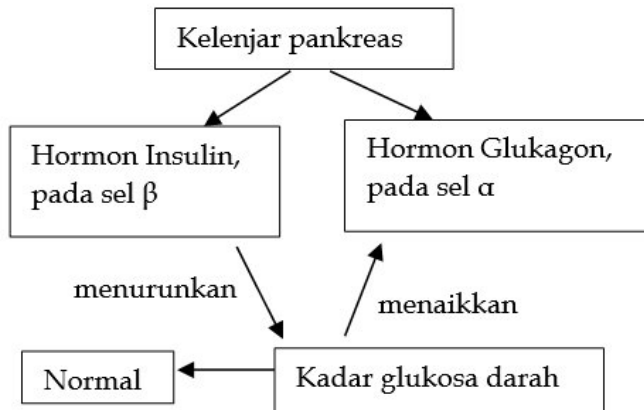
Mekanisme lintasan katabolisme karbohidrat di dalam tubuh manusia diawali dengan lintasan reaksi glikolisis, selanjutnya akan masuk dalam siklus asam sitrat dan rantai transport elektron dengan adanya oksigen dan berlangsung di *mitokondria*. Energi yang dihasilkan pada proses katabolisme akan dipergunakan pada lintasan anabolisme, yang tergantung pada peran hormon dan enzim dalam tubuh (Shi, L. & Tu, B.P., 2015).

Energi yang dimaksud adalah molekul adenosin tri fosfat (ATP) yang berenergi tinggi, dan dihasilkan secara aerobik maupun anaerobik. Energi (ATP) ini yang berperan dalam segala fungsi tubuh, antara lain bernafas, berfikir, tumbuh kembang dan aktivitas sehari-hari.

Lintasan metabolisme yang berlangsung dalam tubuh manusia juga tergantung dengan aktivitas kerja hormon dan enzim. Hormon yang dihasilkan kelenjar tiroid, mengatur jalur metabolisme. Kelenjar endokrin akan menghasilkan hormon dan didistribusikan ke organ tubuh, dan mengatur metabolisme. Peran hormon pada manusia berkaitan dengan pertumbuhan dan perkembangan tubuh.

Fungsi dari hormon selain mengatur jalannya metabolisme juga pada proses pernafasan, aliran darah, pengaturan suhu tubuh, dan memicu kontraksi otot, mengatur ekskresi limbah serta fungsi-fungsi sel saraf. Hormon pertumbuhan berperan pada proses pertumbuhan dan perkembangan pada anak-anak dan remaja.

Pemahaman tentang hormon pada metabolisme karbohidrat biasanya dihubungkan dengan konsentrasi kadar glukosa dalam darah. Hormon yang berperan adalah hormon insulin yang bekerja pada saat reaksi penurunan kadar glukosa dalam darah, dan sebaliknya hormon glukagon bekerja pada saat upaya menaikkan kadar glukosa dalam darah (Gambar 1)



Gambar 1. Peran hormon pada metabolisme karbohidrat

Sumber: (Victor W. Rodwell et al., 2015)

Hormon insulin disintesis dalam sel β -pankreas sedangkan hormon *glukagon* disintesis dalam sel α -pankreas. Pemahaman kerja hormon pada gambar 1 terlihat peran hormon insulin dan glukagon pada mekanisme metabolisme di dalam tubuh.

B. Metabolisme Karbohidrat dan Hormon

Karbohidrat adalah senyawa kompleks yang mengandung untai-an (*polimer*) monosakarida (*glukosa*), dan merupakan sumber energi dan panas tubuh. Karbohidrat sebagian besar dalam bentuk *glukosa* (sekitar 80%) dan sisanya adalah fruktosa dan galaktosa. Lintasan metabolisme dalam tubuh untuk molekul fruktosa dan galaktosa akan diubah menjadi glukosa yang selanjutnya akan masuk dalam lintasan atau jalur metabolisme untuk menghasilkan energi (Wali et al., 2010).

Komponen utama dalam metabolisme penghasil energi yang sangat diperlukan tubuh manusia tersimpan dalam makromolekul diantaranya karbohidrat, protein dan lemak (*trigliserida*). Komponen tersebut akan dipecah melalui proses pencernaan menjadi molekul lebih kecil dan masuk dalam jalur metabolisme, dengan peran dari enzim dan hormon.

Molekul kecil dari karbohidrat yang akan masuk dalam lintasan atau metabolisme karbohidrat adalah glukosa. Transportasi glukosa untuk bisa masuk ke dalam sel, perlu bantuan transporter glukosa. Adapun lintasan metabolisme karbohidrat terdiri dari *glikolisis*, *oksidasi piruvat*, *siklus asam sitrat*, *glikogenolisis*, *glikogenesis*, *glukoneogenesis* dan *siklus asam sitrat*.

Metabolisme glikolisis adalah mekanisme perubahan glukosa yang sudah masuk dalam sel, akan diubah menjadi dua molekul piruvat. Metabolisme ini akan berlangsung dalam tubuh dengan peran hormon insulin dan apabila dalam kondisi cukup glukosa, atau sesudah makan dan akan menghasilkan energi untuk kegiatan kita.

Metabolisme karbohidrat lain yang terjadi dalam tubuh kita adalah glikogenesis, yaitu lintasan pembentukan simpanan glukosa dalam bentuk glikogen. Hal ini terjadi karena glukosa tidak dipakai untuk membentuk energi, sehingga disimpan. Penyimpanan ini juga pengaruh dari aktivitas hormon insulin dalam tubuh.

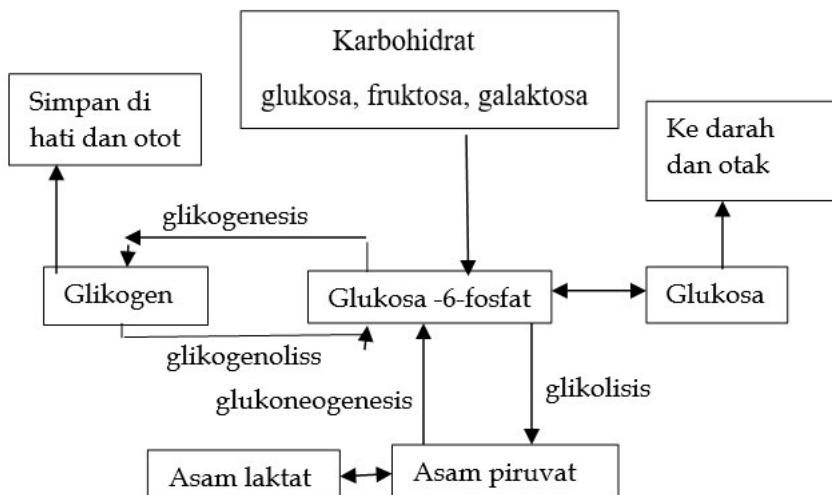
Kondisi sebaliknya terjadi dan tergantung peran dari hormon juga, apabila tubuh membutuhkan asupan glukosa maka simpanan glukosa dalam bentuk glikogen, akan dipecah menjadi glukosa melalui jalur lintasan metabolisme *glikogenolisis*. Hormon yang mengatur pada lintasan reaksi ini adalah *glukagon*.

Demikian juga pada saat kondisi kita tidak ada asupan glukosa, tetapi masih bisa beraktivitas karena tersedia adanya glukosa dalam darah, karena terjadi lintasan metabolisme *glukoneogenesis*. Jalur lintasan ini terjadi karena adanya glukosa di dalam darah, yang bersal dari non karbohidrat. Peran hormon glukagon juga sangat penting dalam jalur lintasan metabolisme ini.

Mekanisme reaksi dalam tubuh yang terjadi dari turunan glukosa menjadi nukleotida dan asam nukleat, adalah perubahan glukosa 6-fosfat menjadi ribosa 5-fosfat. Jalur ini dikenal dengan lintasan Heksosa *Monofosfat Shunt* (HMP Shunt). Lintasan ini terjadi tergantung aktivitas dari hormon yang mengaturnya. Selain itu glukosa juga dapat membentuk asam lemak dan asam amino tertentu.

Mekanisme selanjutnya adalah perubahan asam piruvat menjadi asetil Ko-A untuk bisa masuk ke metabolisme siklus asam sitrat. Pada perubahan asam piruvat menjadi asetil Ko-A dapat melalui 2 jalur, yaitu pada kondisi aerob dan an-aerob. Asam piruvat akan menjadi asetil ko-A pada keadaan aerob, sedangkan pada keadaan anaerob akan menjadi asam laktat.

Lintasan metabolisme karbohidrat yang dapat menghasilkan energi dan diperlukan tubuh (Gambar 2), tergantung dari pengaturan enzim dan hormon melalui lintasan glikolisis, glikogenesis dan *glukoneogenesis* (Victor W. Rodwell et al., 2015).



Gambar 2. Jalur metabolisme karbohidrat

Sumber: (Barret et al., 2016 & Victor W. Rodwell et al., 2015).

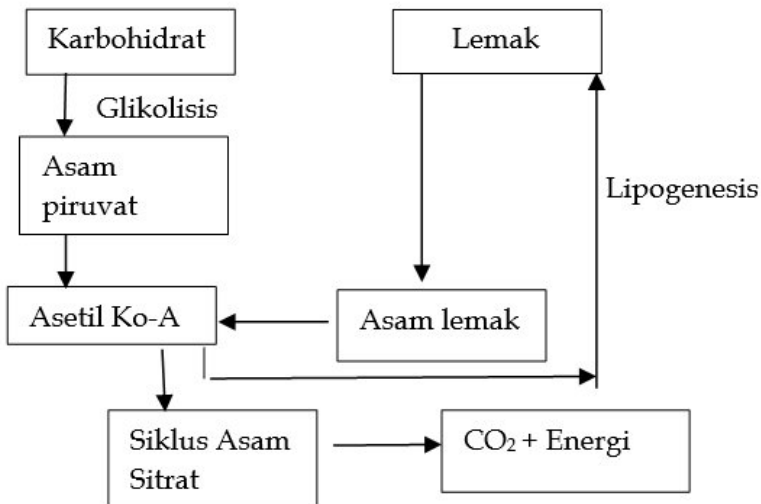
C. Metabolisme Lemak dan Hormon

Asupan makanan kita yang mengandung lemak, mempunyai peran yang sangat penting dalam proses fisiologis tubuh. Unsur lemak tersebut adalah : trigliserida (TG), fosfolipid (PL) dan kolesterol.

Trigliserida (TG) tersusun atas asam lemak (*free fatty acids*, FFA) dan gliserol. Pemahaman tentang kolesterol, biasanya disebut kolesterol yang berasal hewan. Hal ini karena kolesterol dari tumbuhan agak sukar diserap oleh usus manusia. Kolesterol yang berasal dari makanan hewani

sebagai kolesterol ester, biasanya yang terdapat di otak, kuning telur dan hati.

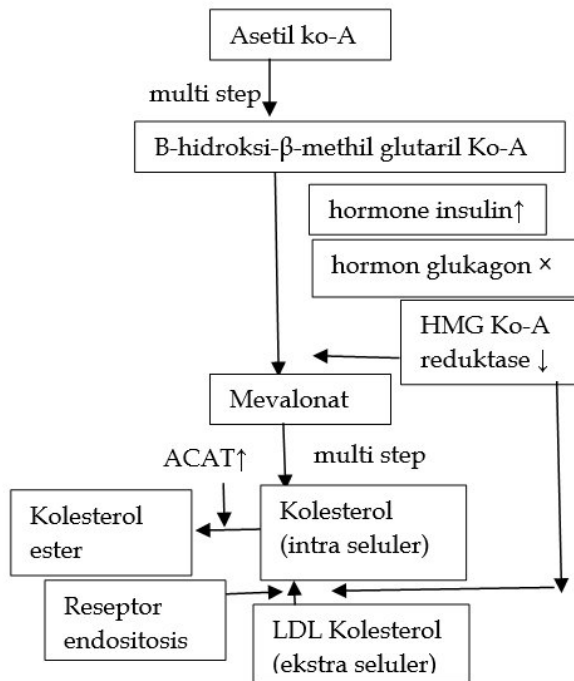
Fungsi utama asam lemak dalam tubuh adalah pada pembentukan membran biologis, berupa fosfolipid, kolesterol, triasilgliserol, glikolipid. Interaksi glukosa dan asam lemak pada metabolisme dalam tubuh (Gambar 3), diawali dengan molekul Asetil Ko-A yang menjadi perantara untuk masuk dalam siklus asam sitrat (Shi, L. & Tu, B.P. 2015).



Gambar 3. Jalur metabolisme karbohidrat dan lemak

Sumber: (Shi, L. & Tu. B.P., 2015).

Mekanisme reaksi pada sintesis asam lemak diawali dengan penambahan gugus karboksil (CO_2^-). Gugus ini berasal dari senyawa bikarbonat (HCO_3^-), dan dengan peran dari enzim asetil Ko-A *karboksilase* akan terbentuk *malonil Ko-A*. Pada mekanisme reaksi ini memerlukan energi (ATP) dan kofaktor mineral Mn^{2+} serta vitamin Biotin (Gambar 4).



Gambar 4. Sintesis Kolesterol

Sumber: (Lou *et al.*, 2020)

Mekanisme pembentukan lemak dalam tubuh biasanya di hati, jaringan adiposa, ginjal, otak dan kelenjar susu. Molekul lemak yang terdapat di jaringan adiposa dalam bentuk molekul *triasilgliserol*. Reaksi yang terjadi dalam lintasan metabolisme lemak melalui proses *karboksilasi asetil Ko-A* dan akan menghasilkan malonil Ko-A. Reaksi ini akan berlanjut pada proses pembentukan asam lemak secara *enzimatis (elongase dan desaturase)*.

Proses reaksi pembentukan kolesterol dalam tubuh, diawali adanya molekul asetil Ko-A, tergantung dari aktivitas hormon insulin (Lou *et al.*, 2020).

D. Metabolisme Protein dan Hormon

Protein adalah salah satu makromolekul kompleks, yang mempunyai banyak peran dalam tubuh manusia, diantaranya sebagai reseptor pensinyalan sel, enzim, hormon, saluran ion, oksigen, pengangkut CO2

pada hemoglobin. Asam amino esensial masih perlu didapatkan dari asupan makanan. Hasil hidrolisis protein akan dipergunakan pada proses anabolisme atau pembentukan lemak (sumber energi), dalam bentuk *asetil Ko-A*. Selain itu pembentukan glukosa dari asam amino atau gliserol dapat berlangsung melalui lintasan *glukoneogenesis*, terjadi di semua sel tubuh antara lain sel *liver* dan ginjal (Wali et al., 2021).

Protein merupakan zat gizi makromolekul, dapat diubah atau dikonversi menjadi energi pada keadaan tertentu, misalnya pada individu yang mengalami kelaparan yang kronis, malnutrisi dan kondisi kritis. Pada saat kelaparan kronis atau puasa, maka lintasan *glukoneogenesis* akan berlangsung sebesar 40% untuk mencukupi kadar glukosa dalam darah.

Pada proses *glukoneogenesis*, diawali perubahan zat gizi protein menjadi asam amino sebelum masuk ke siklus asam sitrat, untuk menghasilkan energi. Asam amino yang terjadi dapat di masukkan dalam dua kategori, yaitu *glukogenik* dan *ketogenik*. Asam amino yang termasuk kategori glukogenik, antara lain: *Alanin, Asparagin, Aspartat, Glutamin, Histidin, Prolin, Treonin, Arginin, Sistein, Glutamat, Glisin, Metionin, Serin, Valin*. Sedangkan asam amino yang termasuk kategori *ketogenik* adalah *Leusin* (Barret et al. 2016).

Asam amino kategori *glukogenik* akan diubah menjadi asam *piruvat*, yang merupakan senyawa spesifik dalam siklus asam sitrat. Sedangkan asam amino yang tergolong *ketogenik*, akan diubah menjadi *asetoasetil Ko-A* atau *asetil Ko-A* sebelum masuk ke lintasan siklus asam sitrat. Terdapat asam amino yang termasuk dalam kategori glukogenik dan ketogenik sekaligus, antara lain : *Isoleusin, Fenil alanin, Triptofan, Tirosin, Lisin*.

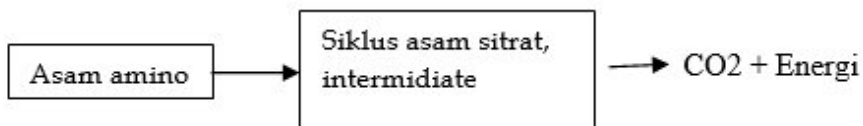
Protein di dalam sel tersusun dari asam amino dan reaksi metabolisme terjadi di *mitokondria*, melalui lintasan atau siklus asam sitrat (siklus Krebs). Katabolisme protein menjadi asam amino dapat dikonversi menjadi energi dan untuk pertumbuhan jaringan/sel. Sebaliknya proses anabolisme protein, melalui proses transmisi dan aminasi.

Proses yang terjadi pada penguraian asam amino untuk menghasilkan energi, berlangsung di hati (Gambar 5). Pada saat sel sudah men-

dapatkan protein yang cukup, maka asam amino tambahan akan dipergunakan sebagai energi dan disimpan dalam bentuk lemak.

Pada proses katabolisme protein, akan terjadi reaksi *deaminasi* asam amino, dan dilanjutkan dengan oksidasi asam amino *terdeaminasi*. Sedangkan pada proses anabolisme protein akan terjadi sintesis protein, dilanjutkan dengan *transaminasi*.

Protein adalah makromolekul yang dibentuk dari rangkaian asam amino, dan bersifat kompleks. Berdasarkan hal tersebut maka tubuh memerlukan waktu lebih lama untuk memecah protein, dan menghasilkan energi tidak secepat karbohidrat maupun lemak. Seluruh rangkaian reaksi tersebut tergantung peran kerja hormon (Cerk et al., 2018).



Gambar 5. Asam amino penghasil energi

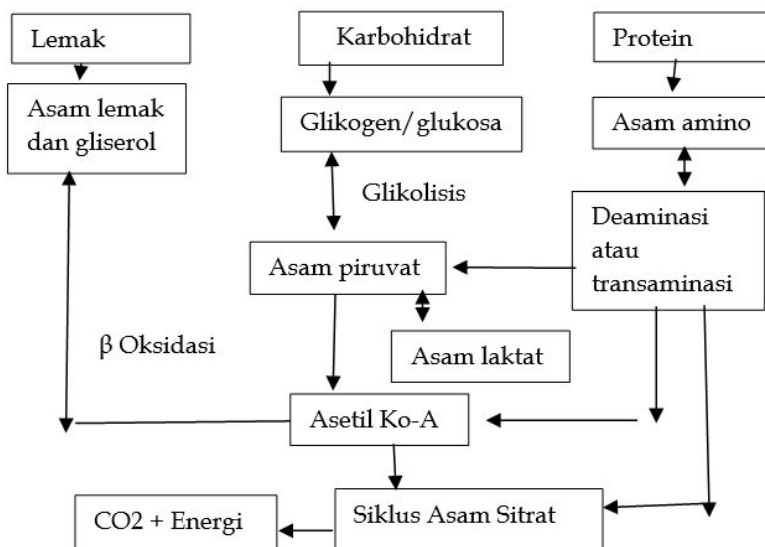
Sumber: (Fenie et al., 2015)

E. Korelasi Metabolisme Karbohidrat-Lemak-Protein

Asupan makanan karbohidrat, lemak dan protein akan bertemu dalam siklus asam sitrat, melalui molekul koenzim A dan menghasilkan energi (Gambar 6).

Pada saat tubuh melaksanakan aktivitas yang tinggi, maka cadangan energi dari karbohidrat dalam bentuk glukosa dalam darah, glikogen otot dan hati, lemak dalam bentuk trigliserida, akan berperan serta dalam produksi energi.

Pada proses metabolisme energi secara aerobik, untuk menghasilkan energi maka terlihat ada zat gizi karbohidrat, lemak dan protein (Gambar 6). Berdasarkan hal tersebut maka ketiga simpanan energi, karbohidrat dan lemak merupakan sumber energi utama, selanjutnya baru protein (Fenie et al., 2015; Victor Rodwell et al. 2015).



Gambar 6. Interaksi karbohidrat, lemak dan protein

Sumber : (Fenie et al., 2015 & Victor Rodwel et al., 2016)

F. Hormon pada metabolisme

Hormon berasal dari bahasa Yunani yang berarti merangsang. Hormon merupakan senyawa protein yang disekresikan oleh kelenjar endokrin ke dalam cairan tubuh (darah). Hormon dihasilkan oleh sel-sel kelenjar yang terdapat di beberapa bagian tubuh. Hormon disebut juga sebagai sistem *edokrin* yang disebut juga sebagai kelenjar buntu, hal ini karena tidak memiliki saluran pengeluarannya.

Berdasarkan hal tersebut, maka pengangkutan hormon akan dibawa dalam peredaran darah. Hormon membawa pesan-pesan yang akan mempengaruhi sel target (sel yang dituju) dalam melakukan metabolisme. Ketika hormon sampai di sel tagetnya (beda hormon, beda sel target) hormon akan mempengaruhi proses sintesis protein dan metabolisme dalam sel target (Victor Rodwell et al., 2015).

Berdasarkan pemahaman kimiawi, hormon dimasukkan dalam empat (4) tipe yaitu : *Hormon amine; Peptida, Protein atau Glikoprotein; Steroid dan Eicosanoid* (Bhagavan, et al., 2011; King 2014).

Adapun peran hormon Insulin dalam tubuh manusia antara lain pada:

- 1. Metabolisme Karbohidrat:** Glukosa, Fruktosa dan Laktosa
- 2. Metabolisme Protein dan Asam Amino**
- 3. Metabolisme Lemak:** Trigliserida dan Kolesterol
- 4. Metabolisme Purin dan Pirimidin**

Sedangkan peran hormon Glukagon dalam tubuh manusia antara lain:

- 1.** Menstimulasi glikogenolisis hati, glukoneogenesis dan ketogenesis
- 2.** Menstimulasi lipolisis sel lemak
- 3.** Menghambat glikogenesis