

## **NUTRIGENOMIK DAN APLIKASI TEKNIK MOLEKULER**

**Penulis** : apt. Ayu Werawati, S.Si., M.Farm | Dr. Ir. Juliana Christyaningsih, M.Kes | Dr. Evy Yulianti, M.Sc | Salmi, S.Si., M.Biomed | Dr. dr. Mutiara Indah Sari, M.Kes | Dr. Dra. Trini Suryowati, M.Si | Juwitriani Alwi, S.K.M., M.Kes | Pritasari, SKM., M.Sc | Dr. dr. Patricia Diana Prasetyo, M.Si. Med, Sp.PA | Fista Utami, S.Tr.Gz., M.Gz | dr. Patrick Bayu, Sp.OG, Subsp F.E.R | dr. Helena Fabiani, M.Gizi., Sp.GK | Dr. R. Agus Wibowo S, S.Si., M.Sc

**Editor** : Prof. Dr. Yusuf Sabilu, M.Si  
dr. Rauza Sukma Rita, Ph.D

**Desain Sampul** : Firman Isma'il

**Tata Letak** : Ernawati

**ISBN** : 978-634-221-780-1

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, MEI 2025**  
**ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH**  
**NO. 225/JTE/2021**

### **Redaksi:**

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari  
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992

Surel : eurekamediaaksara@gmail.com

Cetakan Pertama : 2025

**All right reserved**

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

# BAB 6

## METABOLISME DAN PERANAN VITAMIN, MINERAL SERTA ANTIOKSIDAN DI TINGKAT SELULER

Dr. Dra. Trini Suryowati, M.Si.

### A. Pendahuluan

Metabolisme di tingkat seluler sel adalah rangkaian reaksi yang laju reaksinya dibantu oleh enzim, perlu peran vitamin dan mineral. Reaksi yang terjadi melibatkan karbohidrat, lemak, dan protein sebagai sumber energi serta pemelihara jaringan yang mendukung kelangsungan hidup organisme. Molekul karbohidrat, dalam bentuk gula dan pati, merupakan sumber utama kalori yang dikonsumsi oleh manusia, hewan, dan berbagai mikroorganisme. Peran lain dari karbohidrat adalah sebagai substrat utama bagi tanaman hijau dan organisme yang mampu menghasilkan makanannya sendiri, memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan berbagai produk metabolik. Sebagian besar pati dan karbohidrat lain yang terbentuk melalui fotosintesis berfungsi sebagai sumber utama energi, dan karbon bagi organisme yang tidak mampu menghasilkan makanannya sendiri, pada hewan dan mikroba (Albert L. Lehninger, 2000).

Manusia perlu menjaga kesehatannya dengan mengonsumsi protein sebanyak 30-60 gram per hari atau dalam bentuk asam amino bebas yang setara. Asam amino berlebih, yang merupakan molekul kecil, tidak akan disimpan dalam tubuh, melainkan segera diuraikan. Proses pemecahan protein menjadi asam amino yang terjadi di lambung dan usus halus, berlangsung dengan bantuan enzim *protease* dan *peptidase*.

*Protease* intraseluler berperan dalam memecah ikatan peptida pada protein, menghasilkan senyawa peptida (Murray, K., 2006).

Asam lemak dan gliserol adalah komponen utama penyusun lemak dan minyak, sebagai simpanan energi. Asam lemak dan gliserol bergabung membentuk gliserolipid yang dikenal dengan trigliserida, yaitu lipid kompleks yang penting untuk fungsi membran sel. Proses pemecahan lemak menjadi asam lemak dan gliserol merupakan reaksi kimia, yang laju kecepatan reaksinya dibantu oleh enzim lipase (Albert L. Lehninger, 2000).

Vitamin adalah kelompok senyawa organik dengan berat molekul kecil yang berperan penting dalam metabolisme setiap organisme. Tubuh tidak dapat memproduksi vitamin secara mandiri, maka konsumsi dari makanan menjadi sumber utama. Meskipun awalnya dianggap sebagai amina, banyak vitamin yang ternyata tidak mengandung atom nitrogen dalam strukturnya. Fungsi utama vitamin adalah sebagai koenzim dalam reaksi kimia yang terjadi dalam metabolisme, dan membantu kecepatan kerja enzim.

Vitamin dikategorikan menjadi dua jenis berdasarkan sifatnya, yaitu vitamin yang larut dalam lemak (A, D, E, dan K) serta vitamin yang larut dalam air (B dan C). Masing-masing vitamin ini memiliki peran penting dalam mendukung berbagai fungsi tubuh, termasuk metabolisme, sistem kekebalan, serta pertumbuhan dan perbaikan sel. Kelompok vitamin B terdiri dari berbagai jenis, yaitu vitamin B1 atau tiamin, riboflavin (B2), niasin (B3), vitamin B5 atau vitamin asam pantotenat, biotin (B7), vitamin B6 (piridoksin), vitamin B12 (kobalamin), dan vitamin B9 atau vitamin asam folat. Masing-masing vitamin ini memiliki peran penting dalam mendukung fungsi metabolisme, produksi energi, serta kesehatan sistem saraf dan darah. Masing-masing vitamin berfungsi sebagai koenzim yang membantu mempercepat reaksi kimia dalam metabolisme. Tubuh secara alami hanya mampu menghasilkan vitamin D dan K dalam bentuk provitamin yang belum aktif. Agar dapat digunakan

secara optimal, provitamin ini harus melalui proses lebih lanjut untuk diubah menjadi bentuk aktifnya.

Mineral merupakan senyawa anorganik yang dibutuhkan tubuh sebagai kofaktor dalam proses metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein, serta berperan dalam pembentukan tulang dan gigi. Kelompok mineral terbagi menjadi dua yaitu mineral yang diperlukan dalam jumlah lebih dari 100 mg per hari disebut makromolekul, dan mineral yang dibutuhkan dalam jumlah kurang dari 100 mg per hari adalah kelompok mikromineral (Margaret J. Baigent & Kenneth Carpenter, 2025).

Senyawa antioksidan merupakan senyawa kimia yang memiliki struktur molekul mampu mendonorkan elektron kepada radikal bebas, sehingga dapat menghentikan reaksi berantai yang disebabkan oleh radikal bebas.

Radikal bebas adalah molekul yang sangat reaktif dan tidak stabil akibat keberadaan elektron yang tidak berpasangan. Usaha untuk mencapai kestabilan, molekul ini cenderung berinteraksi dengan molekul lain dengan cara mengambil elektron dari sekitarnya (Ahmed, A. et al., 2022).

## **B. Peran Vitamin dalam Metabolisme**

Vitamin yang larut dalam lemak bersifat tidak menyukai air atau menolak air, dan tidak memiliki muatan (*apolar*), sehingga hanya dapat diserap oleh tubuh apabila terdapat lemak. Pemahaman tentang tidak menyukai air adalah sifat fisik molekul yang tidak memiliki afinitas terhadap air, dan tidak memiliki muatan. Contoh: minyak, lilin, dan steroid.

Vitamin ini yang penting dalam sirkulasi darah, dalam lipoprotein atau terikat pada *specific binding proteins*. Mekanisme kerja vitamin dalam metabolisme, tergantung dari proses pencernaan dan penyerapan lemak. Beberapa kasus akan terjadi apabila kekurangan vitamin larut lemak (Tabel 6.1).

**Tabel 6.1** Gejala kekurangan vitamin larut dalam lemak

| No | Kekurangan Vitamin Larut Lemak | Gejala                                                                                                                                                           |
|----|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | A                              | Penyakit mata xerophthalmia                                                                                                                                      |
| 2. | D                              | Pertumbuhan tulang terganggu: penyakit Rakitis pada anak, Osteomalasia, yaitu hilangnya unsur kalsium dan fosfor. Pada orang lanjut usia mengalami osteoporosis. |
| 3  | E                              | Gangguan pada kulit, otot dan saraf                                                                                                                              |
| 4  | K                              | Perdarahan yang tidak dapat diatasi pada bayi yang baru lahir, mudah memar.                                                                                      |

(Marks A, et al., 2013)

Vitamin yang larut dalam air terdiri dari vitamin B dan vitamin C, yang berperan penting sebagai koenzim dalam berbagai proses metabolisme. Kekurangan salah satu jenis vitamin B jarang terjadi, karena vitamin ini umumnya tersedia dalam beragam sumber makanan. Beberapa gejala akan muncul pada saat seseorang kekurangan vitamin yang larut dalam air (Tabel 6.2):

**Tabel 6.2** Gejala kekurangan vitamin larut dalam air

| No | Kekurangan Vitamin Larut Air    | Gejala                                                                    |
|----|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <i>Thiamin</i>                  | Beri-beri                                                                 |
| 2  | <i>Riboflavin</i>               | <i>Cheilosis, glossitis, seborrhea</i>                                    |
| 3  | <i>Niacin</i>                   | <i>Pellagra</i>                                                           |
| 4  | <i>Pyridoxine</i>               | <i>Peripheralneuritis</i>                                                 |
| 5  | Vitamin B12                     | <i>Megaloblasticanemia, methylmalonic aciduria, dan pernicious anemia</i> |
| 6  | Vitamin B9 (vitamin Asam Folat) | <i>Megaloblasticania</i>                                                  |
| 7  | Vitamin C                       | <i>Scurvy</i>                                                             |

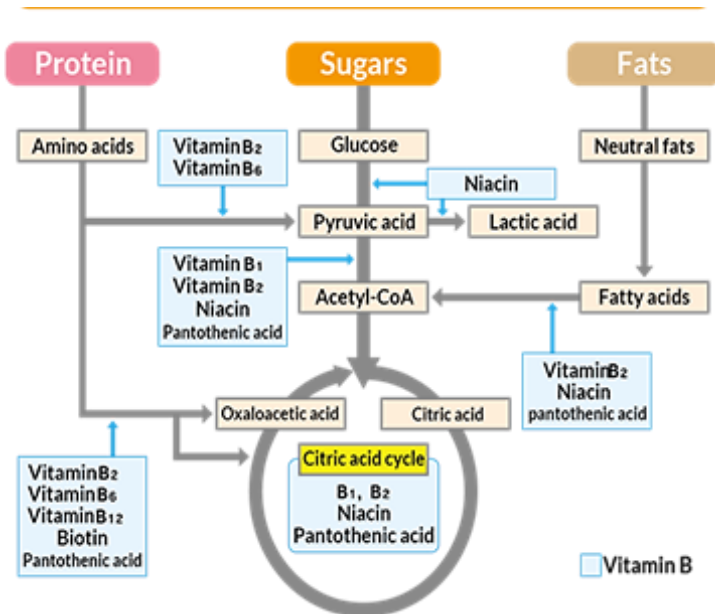
(Marks A, et al., 2013)

Fungsi utama vitamin dalam metabolisme adalah mengatur kecepatan laju reaksi yang berlangsung, baik dalam metabolisme protein, lemak, dan karbohidrat. Vitamin juga berperan dalam reaksi metabolisme pembentukan energi. Vitamin menjadi bagian dari enzim yang membantu memecah zat gizi karbohidrat, lemak dan protein menjadi molekul kecil, yang akan masuk ke dalam sel.

Vitamin berperan dalam menjaga fungsi jaringan, mendukung pertumbuhan serta regenerasi sel, dan mempercepat proses penyembuhan. Berdasarkan hal tersebut maka apabila kekurangan vitamin dapat menyebabkan gangguan fisiologis dalam tubuh.

Vitamin berperan dalam mendukung sistem kekebalan tubuh dengan meningkatkan pergerakan sel secara terarah mendekati atau menjauh dari zat kimia (kemotaksis), dan kemampuan melawan infeksi bakteri, merangsang aktivitas mempertahankan inang dari cedera, serta membantu proliferasi neutrofil, monosit, dan fagosit (Febriana, 2021).

Vitamin B berfungsi sebagai koenzim dalam berbagai reaksi metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein, dan bertujuan menghasilkan energi dalam bentuk molekul yang berfungsi sebagai sumber energi utama dalam sel, disebut Adenosin Trifosfat (ATP) (Gambar 6.1)



**Gambar 6.1** Peran vitamin B dalam metabolisme  
(Margaret J.B. & Kenneth Carpenter. 2025)

### C. Peran Mineral dalam Metabolisme

Mineral yang dibutuhkan tubuh terbagi menjadi dua kategori, yaitu mineral makro (dibutuhkan dalam jumlah besar) dan mineral mikro (dibutuhkan dalam jumlah kecil/*trace elements*). Kebutuhan mineral yang diperlukan dalam jumlah besar meliputi kalsium, fosfor, magnesium, kalium, natrium, klorida, dan sulfur. Sementara itu, mikromineral yang berperan penting bagi tubuh mencakup kromium, mangan, kobalt, molibdenum, tembaga, selenium, yodium, seng, besi, dan fluor. Di antara mineral tersebut, zat besi (Fe) memiliki peran krusial dalam proses pembentukan sel darah merah.

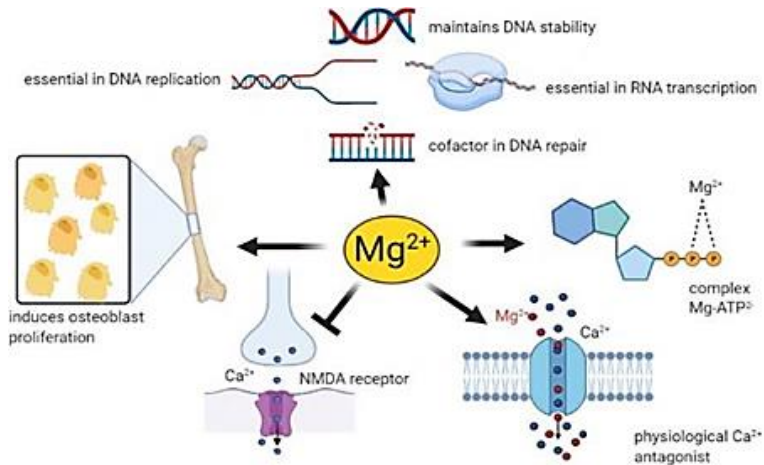
Mineral berperan penting dalam metabolisme tubuh karena membantu proses pembentukan energi (molekul Adenosin Tri Fosfat). Mineral juga membantu mengantarkan zat gizi antar sel, dan membawa sinyal pada sistem saraf (*neurotransmitter*).

Metabolisme mineral mencakup sejumlah proses biokimia yang terjadi dalam tubuh untuk pengambilan, transportasi, penggunaan, dan pengeluaran mineral atau unsur mineral tertentu yang esensial bagi kesehatan dan fungsi tubuh.

Mineral yang berperan dalam metabolisme pembentuk energi adalah magnesium (Mg). Mineral ini berperan dalam metabolisme Glikolisis, yaitu proses pemecahan glukosa atau gula darah menjadi energi (molekul Adenosin Tri Fosfat). Magnesium berperan dalam mendukung fungsi sistem kekebalan tubuh dan kesehatan paru-paru, serta menjaga kesehatan fungsi normal detak jantung dalam mengatur tekanan darah. Sehingga pemahaman tentang metabolisme mineral mengacu pada proses biologis kompleks yang mengatur penyerapan, distribusi, pemanfaatan, dan ekskresi mineral esensial dalam tubuh.

Kalsium adalah mineral yang paling melimpah dalam tubuh manusia, dengan jumlah mencapai sekitar 1,5 hingga 2% dari total berat tubuh. Sekitar 1.200 g kalsium terdapat dalam tubuh manusia dewasa; lebih dari 99% dari jumlah tersebut terdapat dalam tulang. Peran mineral ini sangat besar dalam metabolisme tubuh. Selain pembentukan tulang dan gigi, terdapat mekanisme sintesis hormon dan vitamin D. Interaksi mineral magnesium dan vitamin yang berfungsi sebagai enzim untuk proses katalitik di dalam sel, dan koenzim yang membantu kerja dari enzim, terlihat pada serangkaian reaksi kimia yang berlangsung dalam metabolisme (Gambar 6.2)

Sehingga jelas terlihat bahwa mineral dan vitamin memainkan peran yang berbeda, dalam metabolisme pembentukan energi (molekul Adenosin Tri Fosfat) dan jaringan tubuh manusia. Dua senyawa tersebut dibutuhkan sebagai bagian fungsional enzim yang terlibat dalam pelepasan dan penyimpanan energi (Victor Rodwell et al. 2015).

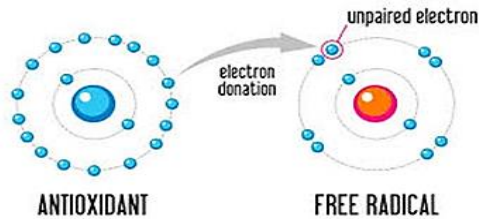


**Gambar 6.2** Peran mineral Magnesium dan Kalsium dalam metabolisme seluler  
(Cecilia Prata. 2021).

Kekurangan mineral dapat menyebabkan sejumlah gejala, mulai dari menurunnya imun tubuh, badan lesu, hingga gangguan fungsi otot. Gejala kekurangan mineral bisa berbeda-beda, tergantung dari jenis mineral yang mengalami penurunan kadar dan fungsinya dalam tubuh.

#### D. Peran Molekul Antioksidan dalam Metabolisme

Molekul antioksidan berperan penting dalam metabolisme tubuh, dengan menghambat atau mencegah oksidasi pada molekul lain. Oksidasi terjadi ketika elektron berpindah dari suatu zat ke zat pengoksidasi, yang berpotensi menghasilkan radikal bebas dan menyebabkan kerusakan sel. Molekul antioksidan berperan sebagai zat pereduksi dengan memberikan elektron pada molekul lain, sehingga mampu menghambat serta menghentikan reaksi berantai. Manfaat dari reaksi tersebut adalah melindungi sel dari kerusakan akibat ketidakseimbangan produksi radikal bebas dengan molekul antioksidan (Gambar 6.3).



**Gambar 6.3** Mekanisme antioksidan dan radikal bebas  
(Youssef MY. 2023)

Sel memerlukan sistem pertahanan alami dalam tubuh yang optimal, untuk melindungi diri dari dampak negatif akibat produksi berlebihan *reactive oxygen species* (ROS) serta untuk mencegah kerusakan pada sel-sel imun.

Dalam kondisi tersebut, molekul antioksidan sangat diperlukan untuk mengatur reaksi yang menghasilkan radikal bebas. Molekul antioksidan dapat diproduksi secara alami oleh tubuh atau diperoleh dari sumber eksternal, seperti makanan yang kaya akan vitamin C, vitamin E, zat pigmen yang memberikan warna kuning, jingga pada sayur/buah disebut beta karoten, dan senyawa alami dalam tumbuhan (polifenol) yang banyak manfaat dalam kesehatan.

Kelompok molekul antioksidan enzimatik yang dihasilkan secara endogen merupakan molekul antioksidan yang diproduksi oleh tubuh manusia untuk melawan radikal bebas, baik yang berasal dari lingkungan (eksogen) maupun yang terbentuk dalam tubuh (endogen). Beberapa jenis molekul antioksidan enzimatik yang berperan dalam melawan radikal bebas meliputi superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan glutathion peroksidase (GPx). Molekul antioksidan enzimatik ini, yang juga dikenal sebagai molekul antioksidan sekunder berfungsi menetralkan radikal bebas dengan menangkap dan menghentikan proses pembentukannya. Pada mekanisme ini, molekul antioksidan enzimatik membantu melindungi sel dari kerusakan akibat ketidakseimbangan radikal bebas dengan molekul antioksidan, sehingga menyebabkan berbagai gangguan kesehatan (Sadikin, 2002; Murray, 2009).

Radikal bebas endogen adalah radikal bebas yang berasal dari dalam tubuh, terbentuk melalui berbagai proses biologis, termasuk reaksi spontan yang menyebabkan kerusakan, proses oksidasi yang dikatalisis oleh enzim, fagositosis dalam respirasi, transportasi elektron dalam sel, serta oksidasi ion logam transisi. Sementara itu, radikal bebas yang berasal dari luar tubuh (eksogen) dapat dipicu oleh berbagai faktor lingkungan, seperti paparan sinar Ultraviolet, radiasi, polusi, asap rokok, konsumsi makanan dan minuman tertentu, ozon, serta paparan pestisida. Upaya dalam mengurangi dampak negatifnya, antioksidan non-enzimatik seperti vitamin A, C, dan E, berperan dalam menetralkan serta menangkal efek berbahaya dari radikal bebas. Informasi lebih rinci mengenai aktivitas molekul antioksidan ini dapat dilihat pada Tabel 6.3.

Interaksi yang terjadi dalam mempertahankan kesehatan tubuh dari kerusakan jaringan oleh radikal bebas, terdapat aksi sinergis dari vitamin dan mineral. Kelompok molekul antioksidan lain yang mencakup senyawa kimia alami yang diproduksi oleh tumbuhan (fitonutrien), dapat dijumpai pada berbagai jenis makanan.

**Tabel 6.3** Peran Molekul Antioksidan dalam Metabolisme

| No | Molekul Antioksidan | Komponen | Mekanisme Kerja di Tingkat Seluler                                                                        | Sumber                     |
|----|---------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1  | Mineral             | Fe       | Kekurangan besi dapat menyebabkan anemia, mengurangi aktivitas fagositosis, dan menurunkan produksi IL-2. | (Puertollano et al., 2011) |
| 2  | Mineral             | Zn       | Meningkatkan aktivitas natural <i>killer cell</i> .                                                       | (Puertollano et al., 2011) |

| No | Molekul Antioksidan | Komponen | Mekanisme Kerja di Tingkat Seluler                                                                                                                                                                                 | Sumber                                                                                              |
|----|---------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | Vitamin             | C        | <b>Fagositosis:</b><br>Berperan sebagai donor <i>elektron</i> .<br>Meningkatkan fagositosis.<br><b>Sel B dan Sel T</b><br>Meningkatkan jumlah antibodi.<br><b>Mediator inflamasi</b><br>Mengurangi kadar histamin. | Mohammed et al., 2016);<br>(Parker et al., 2011);<br>(Canali et al., 2014);<br>(Hagel et al., 2013) |
| 4  | Vitamin             | E        | Meningkatkan jumlah IgM.<br>Meningkatkan aktivitas sel pembunuh alami ( <i>natural killer cell</i> ).<br>Meningkatkan aktivitas sel T-helper.                                                                      | (Xuan et al., 2016);<br>(Dalia et al., 2018);                                                       |

(Aida Roja Fadlilah & Keri Lestari. 2023)

Berdasarkan mekanisme kerjanya, molekul antioksidan yang terdiri dari vitamin dan mineral berperan penting dalam melindungi sel dari kerusakan akibat radikal bebas. Oleh karena itu, dalam menjaga keseimbangan antara kadar molekul antioksidan dan radikal bebas menjadi hal yang krusial. Keseimbangan ini tidak hanya mendukung fungsi sel yang optimal, tetapi juga memastikan proses metabolisme dalam tubuh berjalan dengan lancar dan efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, A. et al. (2022) The Combination of Quercetin and Bromelain with Zinc, EGCG, Retinoic Acid, Vitamin C and Vitamin D for the potential Symptom Reducer, Prevention, and Treatment for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19).
- Aida Roja Fadlilah, Keri Lestari. 2023. Review : Peran Antioksidandalam Imunitas Tubuh. Program Studi Profesi Apoteker, Fakultas Farmasi, Universitas Padjadjaran
- Albert, L. Lehninger. 2000. Biochemistry Fundament, Carbohydrat. Protein, Lipid Metabolism., The Johns Hopkins University.
- Dalia AM, Loh TC, Sazili AQ, Jahromi MF, & Samsudin A. (2018). Effects of vitamin E, inorganic selenium, bacterial organic selenium, and their combinations on immunity response in broiler chickens. BMC Veterinary Research, 14(1), 249. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1578-x>
- Diana F<sup>1†</sup>, C. Cappadone<sup>1,†</sup>, G. Farruggia<sup>1,\*</sup>, Cecilia Prata<sup>1</sup>. 2021 Magnesium: Biochemistry, Nutrition, Detection, and Social Impact of Diseases Linked to Its Deficiency. Nutrients, 13(4):1136. doi: 10.3390/nu13041136
- Febriana, L. (2021) 'Potensi Suplemen dalam Tatalaksana COVID 19', Continuing Medical Education, 48(2), pp. 93–96.
- Hagel, A. F., Layritz, C. M., Hagel, W. H., Hagel, H.-J., Hagel, E., Dauth, W., Kressel, J., Regnet, T., Rosenberg, A., Neurath, M. F., Molderings, G. J., & Raithel, M. (2013). Intravenous infusion of ascorbic acid decreases serum histamine concentrations in patients with allergic and non-allergic diseases. Naunyn Schmiedeberg's Archives of Pharmacology, 386(9), 789–793. <https://doi.org/10.1007/s00210-013-0880-1>

- Margaret J. Baigent, Kenneth Carpenter. 2025. B-vitamin coenzymes in metabolism. Functions of B-vitamin coenzymes in metabolism. Encyclopædia Britannica, Inc Encyclopædia Britannica, Inc.
- Marks A, et al., 2013. Marks' Basic Medical Biochemistry: A Clinical Approach, 4th ed. Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business.
- Mohammed, B. M., Fisher, B. J., Kraskauskas, D., Ward, S., Wayne, J. S., Brophy, D. F., Fowler, A. A., Yager, D. R., & Natarajan, R. (2016). Vitamin C promotes wound healing through novel pleiotropic mechanisms. *International Wound Journal*, 13(4), 572-584. <https://doi.org/10.1111/iwj.12484>
- Murray, K. 2006. *Illustrated Biochemistry*, 27ed The Mac Graw Hill; New York
- Parker, A., Cuddihy, S. L., Son, T. G., Vissers, M. C. M., & Winterbourn, C. C. (2011). Roles of superoxide and myeloperoxidase in ascorbate oxidation in stimulated neutrophils and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-treated HL60 cells. *Free Radical Biology & Medicine*, 51(7), 1399-1405. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2011.06.029>
- Puertollano, M. A., Puertollano, E., de Cienfuegos, G. Á., & de Pablo, M. A. (2011). Dietary antioxidants: Immunity and host defense. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 11(14), 1752-1766. <https://doi.org/10.2174/156802611796235107>
- Sadikin, 2002. *Biokimia Enzim*. Cetakan I. Penerbit Widya Medika. Jakarta
- Victor Rodwell, David Bender, Kathleen M. Botham, P. Anthony Weil, Peter J. Kennelly, 2015, SECTION iv: metabolism of carbohydrate in *Harper's Illustrated Biochemistry*, 30<sup>th</sup> Edition (LANGE Basic Science)-McGraw-Hill Medical; p:139-210

- Xuan, N. T., Trang, P. T. T., Van Phong, N., Toan, N. L., Trung, D. M., Bac, N. D., Nguyen, V. L., Hoang, N. H., & Van Hai, N. (2016). Klotho sensitive regulation of dendritic cell functions by vitamin E. *Biological Research*, 49(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s40659-016-0105->
- Youssef MY., Mohammad E A., Galal AE., Amira AE., Aya IH., Mounir ME., Reem AS., Eman AEE. 2023. Synthesis and antioxidant, antimicrobial, and antiviral activity of some pyrazole-based heterocycles using a 2(3H)-furanone derivative. *Journal of the Iranian Chemical Society* <https://doi.org/10.1007/s13738-023-02814-w>