

4. PENGARUH NUTRISI TERHADAP KUALITAS TELUR IKAN

Pada spesies ikan yang sama, pasokan pakan yang lebih melimpah umumnya memproduksi telur yang lebih besar dibandingkan yang menerima lebih sedikit pakan. Pengaruh kualitas pakan terhadap sifat-sifat telur seperti ukuran dan komposisi telur dilaporkan bahwa induk betina yang diberi pakan pelet memproduksi telur yang lebih kecil daripada yang diberi pakan basah, demikian juga pengaruh pakan yang berasal dari ragi yang tumbuh dalam metanol daripada yang berasal dari tepung ikan. Pada ikan red seabream yang diberi pakan protein rendah daya tetas telurnya rendah dan larva abnormal.

Kadar protein yang berbeda pada induk ikan *Leptobarbus hoeveni* berpengaruh terhadap ukuran telur dan fekunditas dimana di dapatkan gonado somatik indek pada pemberian pakan dengan kandungan protein 32% adalah sebesar 158,61 gram, pada kadar protein pakan

40% yaitu 156,92 gram dan pada kadar protein pakan 24% adalah sebesar 96,40 gram. Jumlah telurnya sebanyak 807 butir per gram pada pakan ikan yang mengandung protein 32%, 792 butir telur per gram pada pakan ikan yang mengandung protein 40% dan 79 butir telur per gram pada pakan ikan yang mengandung protein 24%. Sedangkan fekunditas 134.563 butir telur per induk pada pemberian pakan yang mengandung protein sebesar 32%, 130.035 telur per induk pada kadar protein 40% dan 82.680 butir telur per induk pada kadar protein 24%. Disamping itu karbohidrat di dalam pakan juga berpengaruh terhadap kandungannya di dalam telur tetapi pengaruhnya relatif sedikit. Ikan *Ictalurus punctatus* dapat memanfaatkan karbohidrat secara optimum pada kisaran 30 sampai 40%, tetapi lebih sedikit yang dimanfaatkan untuk perkembangan telur. Data yang diperoleh dari 9 spesies ikan yang memijah di 10 lokasi dari perairan tawar dan laut didapatkan kandungan karbohidrat telur ikan berkisar 0.6% sampai 8.7% dari bahan keringnya, atau rata-rata 2.6%.

Lemak merupakan komponen kedua bahan kering telur ikan. Bagian cadangan lemak utama terdapat dalam kuning telur. Lemak ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi dan sisanya disimpan dalam embrio. Peranan asam lemak esensial bagi perkembangan embrio berkaitan dengan penyusunan struktur membran sel dan sebagai prekursor prostaglandin selain sebagai sumber energi. Kadar asam lemak dalam telur ikan red seabream sangat dipengaruhi oleh kadar asam lemak pakan yang diberikan sebelum pemijahan. Pemberian pakan induk yang kekurangan asam lemak esensial akan menghasilkan derajat tetas telur yang rendah. Induk red seabream yang diberi pakan dengan kandungan lemaknya sebesar 10% yang mengandung (18.5% ω 3-HUFA), 11% (29.6% ω 3-HUFA) dan 16% (22.7% ω 3-HUFA), ternyata pemberian lipid 11% (29.6% ω 3-HUFA) diperoleh derajat penetasan telur terbaik 93.9% dan larva normal 97.6%. Hasil terendah terdapat pada pemberian lipid pakan 16% (22.7% ω 3-HUFA). Jadi dapat dikatakan proporsi lipid yang relatif rendah dengan ω 3-HUFA tinggi dapat meningkatkan kualitas telur. Induk ikan lele, *Clarias*

batracus yang diberi pakan berkadar asam lemak $\omega 6$ dan $\omega 3$ rendah (0.21% dan 0.03%) menghasilkan derajat tetas telur rendah (49.3%). Apabila asam lemak $\omega 6$ dan $\omega 3$ dinaikkan sampai 1.85% dan 0.56% maka derajat tetas telur meningkat sampai 82.3% dan derajat tetas telur menurun kembali hingga 74.0% apabila penambahan melebihi kadar tersebut (2.24% asam lemak $\omega 6$ dan 0.07% asam lemak $\omega 3$).

Vitamin yang dapat berperan dalam meningkatkan reproduksi ikan adalah vitamin E. Fungsi yang paling nyata dari vitamin E adalah sebagai antioksidan, terutama untuk melindungi asam lemak tidak jenuh pada fosfolipid dalam membran sel. Sementara itu diketahui pula pada ikan atlantik salmon bahwa α -tokoferol, nama lain dari vitamin E, diangkut dari jaringan perifer ke gonad melalui hati bersama lipoprotein plasma.

Defisiensi α -tokoferol pada hewan dapat menyebabkan lemah otot, pertumbuhan terhambat, degenerasi embrio, tingkat penetasan telur yang rendah, degenerasi dan pelepasan sel epitel germinatif dari testis, dan terjadinya kemandulan, menurunkan produksi

prostagladin oleh microsome dari testis, otot dan limpa, menurunkan permeabilitas sel, memacu kematian dan merusak syaraf. Vitamin E juga berpengaruh pada kualitas telur yang dihasilkan, seperti terlihat dari rendahnya jumlah telur yang terbuahi pada red seabream. Pada ikan yellow tail, adanya penambahan vitamin E sebanyak 200 mg/kg pakan induk akan menghasilkan jumlah larva yang tertinggi.

Vitamin E sangat berperan dalam proses reproduksi ikan. Pada proses reproduksi, sebelum terjadi pemijahan sebagian besar hasil metabolisme tertuju untuk perkembangan gonad. Pada masa reproduksi, α -tokoferol akan didistribusikan ke jaringan adiposa. α -tokoferol diangkut ke hati mungkin dalam kilomikron, dan dikirim ke jaringan dalam bentuk lipoprotein. Selanjutnya oleh enterosit dalam bentuk gabungan kilomikron (α -tokoferol dengan mono, di dan trigliserida), vitamin tersebut dibawa ke saluran limpatik. Dari sistem limpatik α -tokoferol bersama Very Low Density Lipoprotein (VLDL) akan masuk ke dalam sirkulasi darah, dan langsung dikirim sebagian ke bagian yang membutuhkan, sebagian lagi α -tokoferol

terlebih dahulu masuk ke hati melalui ductus toracicus dan bergabung dengan VLDL yang kaya akan trigliserida dan High Density Lipoprotein (HDL) yang kaya akan fosfolipid, kolesterol dan ester. VLDL dan HDL ini disintesis oleh hati. Kemudian vitamin E kembali ke pembuluh darah. Di dalam pembuluh darah VLDL dan HDL dari hati dikonversi menjadi Low Density Lipoprotein (LDL) dengan bantuan enzim lipoprotein lipase dalam serum darah dan selanjutnya vitamin E dalam LDL siap diangkut ke jaringan adipose.

Ikan atlantik salmon *Salmo salar*, dengan bobot lebih kurang 16.9 gram, diberi pakan dasar semi murni yang mengandung kasein, dan dl- α -tokoferol asetat 0 dan 15 mg/kg pakan, menyebabkan tingkat kematiannya 100% dan jika diberi 30 mg/kg pakan, ikan akan mengalami gejala defisiensi. Ikan yang mengalami defisiensi vitamin E memperlihatkan kandungan haemoglobin darah rendah, volume dan jumlah sel darah merah meningkat dan bagian sel darah merah tidak matang. Kadar vitamin E 60 mg/kg pakan dapat memberikan kelangsungan hidup ikan yang tinggi.

Vitamin E berperan sangat penting untuk perkembangan gonad. Pada ikan baronang (*Signatus canaliculatus*) penambahan vitamin E 40 mg/kg pakan paling baik dalam mempercepat pematangan gonad. Kadar vitamin E di telur dari ikan yellow tail yang terbaik adalah 186.6 sampai 243.0 mg/gram bobot kering telur. Kadar vitamin E dalam telur tersebut berasal dari induk yang mendapatkan pakan yang mengandung vitamin E 124.1 sampai 471.8 mg/kg pakan. Vitamin ini juga dapat mempengaruhi komponen kimia lipid telur dan daya apung telur yellow tail. Pemberian vitamin E (dl- α -tokoferol asetat) sebesar 0.441, 1.473, 0.647, 0.420, dan 0.402 mg/gram pakan induk red seabream. Hasilnya adalah terjadi penyimpanan vitamin E dalam lemak telur berturut-turut sebesar 9.70, 13.40, 15.90, 20.10 dan 12.40%. Tingkat penyimpanan tersebut terlihat berkorelasi dengan vitamin E dalam pakan, dan kandungan vitamin E dalam pakan sebesar 0.420 mg/g pakan menghasilkan derajat tetas telur 95% dan larva normal 95.7%. Pemberian α -tokoferol sebesar 200 mg/kg pakan pada kadar 2.5% lemak polar dari krill dan 2.5% lemak

non-polar dari krill pada pakan kontrol yang diberikan sebelum ikan memijah. Kadar α -tokoferol 200 mg/kg tersebut dapat meningkatkan kualitas fosfatidilkolin dan astaxanthin, yakni bagian dari lemak polar telur red seabream.

Pada oosit atau telur yang mengandung kadar α -tokoferol relatif tinggi, kemungkinan teroksidasinya lipid relatif berjalan lebih lambat dibandingkan dengan yang kadar α -tokoferol rendah. Menurut Linder (1992), superoksida radikal anion (O_2^-) dan peroksida (H_2O_2) dapat terbentuk karena oksidasi substrat eksogen atau endogen dan prosesnya dipercepat oleh enzim membran seperti oksidase sitokrom P-450 dan oksidase xanthin. Senyawa tersebut bereaksi dengan protein untuk membentuk radikal hidroksil bebas atau radikal serupa. Semua senyawa radikal yang terbentuk dapat mengoksidasi asam lemak tak jenuh dari fosfolipid mitokondria, mikrosom (endoplasmik retikulum) dan membran plasma melalui peroksidasi dalam satu rantai reaksi. Sedangkan untuk mencegah atau menonaktifkan oksidasi lipid oleh superoksida anion dan peroksida tersebut diperlukan

enzim glutathion peroksidase, superoksidase dismutase dan katalase yang kerjanya berkaitan dengan fungsi α -tokoferol sebagai antioksidan.

Keeratan hubungan α -tokoferol atau asam-asam lemak dengan efektifitas hormon pada waktu vitelogenesis, kemungkinan berhubungan dengan aktivitas luteinizing hormon (LH) dan prostaglandin. LH memacu produksi cAMP. Peningkatan produksi cAMP oleh LH ini disertai pula meningkatnya konsentrasi prostaglandin E1. Hormon LH pada gilirannya akan memacu folikel memproduksi estrogen dan progesteron. Induk ikan yang memasuki fase pematangan oosit akan dipengaruhi oleh hormon trofik hipotalamus dan kelenjar pituitari. Folikel yang sedang tumbuh mensintesis dan mengekskresi hormon-hormon steroid ke dalam peredaran darah. Salah satu sasaran hormon steroid, terutama 17β -estradiol adalah hati. Hormon ini merangsang sintesis dan mentranspor vitelogenin ke gonad. Komponen yang disimpan dalam oosit adalah protein, lipid, karbohidrat, fosfat dan garam-garam mineral yang lainnya vitamin. Hubungan α -tokoferol dengan vitelogenin dalam

perkembangan oosit ternyata melalui prostaglandin. Dalam hal ini, prostaglandin disintesis secara enzimatik dengan menggunakan asam lemak tak jenuh, sedangkan vitamin E (α -tokoferol) berfungsi mempertahankan adanya asam lemak tersebut. Jadi dapat dikatakan perkembangan oosit dapat dipengaruhi oleh kadar α -tokoferol pakan.

Derajat penetasan telur yang rendah dapat disebabkan oleh hambatan perkembangan embrio atau gangguan pada embrio, sehingga embrio tidak berkembang dengan baik. Hubungan antara perkembangan embrio dengan α -tokoferol merupakan hubungan melalui mediator asam lemak tak jenuh. Jika konsentrasi α -tokoferol rendah, maka lemak atau asam lemak tak jenuh juga rendah. Kerapuhan membran sel dapat terjadi apabila tidak ada vitamin E didalam sel tersebut karena asam lemak pada fosfolipid teroksidasi. Adanya kerapuhan dinding sel telur dapat menyebabkan gangguan respirasi dari telur tersebut. Adanya gangguan dalam proses metabolisme sel dalam telur dicirikan oleh adanya penurunan respirasi didalam telur. Selanjutnya kegagalan embriogenesis dapat terjadi juga jika pembentukan

prostaglandin terhambat karena kurangnya asam lemak ω -6 dan ω -3. Prostaglandin diperlukan untuk proses pengenalan satu sel terhadap yang lainnya. Jika prostaglandin kurang akan menyebabkan sel-sel tidak kompak pada tahap blastula. Prostaglandin diketahui sebagai mediator dari aksi gonadotropin saat pecahnya folikel (ovulasi) pada ikan.

Fungsi utama vitamin E (α -tokoferol) telah diketahui yaitu sebagai antioksidan yakni melindungi lipid, terutama asam lemak tak jenuh dari proses oksidasi. Lipid digunakan sebagai bahan penyusun struktur butiran lemak (oil droplet) dan butiran kuning telur (yolk globul). Material lipid adalah sebagai bahan penyusun sejumlah besar fosfolipid yang ditimbun dalam sitoplasma dan kutub anima telur. Lemak yang ditimbun dalam telur berperan juga sebagai sumber energi dan pengendali daya apung stadia telur, embrio dan larva. Disebabkan oleh peranan lemak yang cukup besar, maka lemak dalam telur harus diupayakan ada dan dijaga keberadaannya agar selalu dalam kondisi optimal.

Selain vitamin E, vitamin yang mempengaruhi kualitas telur adalah vitamin C. Kekurangan vitamin C dapat secara langsung mempengaruhi kualitas sperma maupun telur. Ini disebabkan vitamin C merupakan suatu ko-enzim yang berperan dalam biosintesis hormon steroid dan neurohormon. Konsentrasi estradiol-17 β secara nyata lebih rendah pada induk ikan rainbow trout yang diberi pakan tanpa penambahan vitamin C dibanding yang diberi pakan dengan penambahan vitamin C. Vitamin C berperan dalam merangsang biosintesis vitelogenin yang merupakan materi yang akan ditimbun didalam oosit. Pemberian 500 mg L-AFMg/kg pakan untuk induk udang *Penaeus japonicus* betina dapat menghasilkan nilai ISG yang terbesar dibanding dosis yang lebih tinggi. Sebaliknya untuk ikan *Japanese parrot* pemberian 3000 mg AAs/kg pakan telah menghasilkan nilai ISG dan aktivitas vitelogenesis ditunjukkan oleh jumlah induk yang ovarinya telah mencapai stadium vitelogenesis hingga matang. Kandungan vitamin C di ovarium induk ikan *Oreochromis mossambicus* yang diberi 1250 mg/kg pakan lebih besar dibandingkan pemberian dosis rendah. Vitelogenin plasma induk ikan

rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) yang menerima pakan dengan penambahan vitamin C lebih tinggi dibandingkan induk yang memperoleh pakan tanpa penambahan vitamin C. Karena itu penambahan vitamin C di dalam pakan penting untuk proses pembentukan vitelogenin yang dilakukan oleh induk ikan betina, sehingga akumulasi materi di dalam kuning telur maupun pelengkapan oosit lainnya dapat terpenuhi bagi peningkatan kelangsungan hidup embrio dan larva ikan.

Vitamin C juga mempunyai peranan biokimia yang penting dengan beberapa enzim hidrosilase yaitu pada awal proses biosintesis hormon steroid dan metabolisme lemak. Enzim kolesterol-17- α -hidrosilase yang terdapat di mikrosom hati dengan adanya asam askorbat (AAs) akan mengkatalis reaksi kolesterol menjadi asam-asam empedu. Asam empedu berfungsi untuk merubah lemak menjadi emulsi lemak dengan cara membentuk kompleks asam lemak-asam empedu, sehingga lebih mudah dicerna oleh enzim lipase sebelum diabsorpsi oleh dinding usus. Selanjutnya dikemukakan lagi bahwa vitamin A, D, E dan K (vitamin yang larut di dalam lemak) menjadi lebih mudah

diserap oleh mukosa usus dengan adanya asam empedu. Defisiensi vitamin C telah mengakibatkan penurunan produksi asam empedu pada *Quinea pig*. Enzim-enzim steroid hidroksilase di mikrosom dan di mitokondria kelenjer adrenal yang berfungsi untuk pembentukan hormon-hormon steroid yang telah mengalami kerusakan pada hewan-hewan yang menderita penyakit skorbutik dapat disembuhkan dengan pemberian AAs.

Sedangkan biosintesis hormon steroid untuk reproduksi terjadi dalam beberapa tahapan reaksi hidroksilasi dan gangguan terhadap tahapan reaksi ini akan menghambat proses biosintesis hormon tersebut. Selanjutnya dikemukakan lagi bahwa di dalam sel-sel kortek dari kelenjer adrenal didapati konsentrasi vitamin C yang tinggi jika dibandingkan dengan sel-sel tubuh lainnya, ini karena vitamin C berperan dalam meningkatkan biosintesis hormon-hormon steroid oleh sel-sel kelenjer adrenal dengan jalan meningkatkan proses hidroksilasi di dalam rantai sintesis hormon-hormon steroid, dalam rangka ini maka hormon adrenokortikotropik (ACTH) akan

mengakibatkan dosis vitamin C di dalam sel-sel kortek dari kelenjar adrenal akan menurun.

Vitamin C di ovarium berperan dalam reaksi hidroksilasi untuk biosintesis hormon steroid. Akumulasi vitamin C di sel-sel folikel yang mengitari sel telur, dan pada jaringan tersebut terdapat sel folikel yang berperan dalam sintesis hormon-hormon steroid. Ikan bandeng yang menerima penambahan 1500 mg L-AFMg/kg pakan menunjukkan frekuensi bertelur lebih tinggi dibandingkan induk yang menerima pakan dengan penambahan 1000 mg L-AFMg/kg dan tidak ditemui induk yang memijah pada kontrol. Pemberian L-FMg dapat merangsang perkembangan gonad induk udang *Penaeus japonicus* betina. Sedangkan pada ikan tilapia (*Oreochromis mossambicus*) terjadi penahanan proses pematangan gonad pada induk yang diberi pakan tanpa penambahan vitamin C. Pengaruh pemberian LH-RH terhadap kandungan vitamin C di ovarium juga terjadi pada ikan sardin (*Sardinops sagaxmelanosticta*). Dimana terdapat pengurangan kandungan vitamin C di ovarium sebesar 50% setelah induk disuntik LH-RH, dan derajat penetasan telur untuk

ikan yang diberi pakan dengan penambahan 3200 mg AAs/kg pakan lebih tinggi dibanding yang diberi penambahan 80 mg AAs/kg pakan. Ini menunjukkan adanya pengaruh vitamin C terhadap biosintesis hormon-hormon steroid, sebab pemberian LH-RH akan merangsang gonad melakukan biosintesis tersebut.

Vitamin C didalam ransum yang diterima oleh induk akan ditransfer ke telur dan dipersiapkan untuk mendukung perkembangan embrio. Kandungan vitamin C di telur sebesar 20 $\mu\text{g}/\text{gram}$ merupakan batas terendah untuk perkembangan secara normal embrio ikan rainbow trout. Telur-telur rainbow trout yang diperoleh dari alam mengandung vitamin C 50-100 $\mu\text{g}/\text{gram}$ dan mempunyai daya tetas yang lebih baik. Kemudian untuk telur ikan salmon yang mengandung vitamin C 65 $\mu\text{g}/\text{gram}$ memiliki derajat penetasan yang lebih tinggi dibanding telur yang mengandung vitamin C lebih rendah yaitu 5 $\mu\text{g}/\text{gram}$.

Selain vitamin E dan C, vitamin A juga akan berpengaruh terhadap kualitas telur. Karena vitamin A merupakan unsur penting untuk penglihatan, reproduksi, integritas struktur membran sel, pertumbuhan dan

perkembangan embrio. Penelitian tentang pengaruh vitamin A pada proses reproduksi ikan masih sangat sedikit dan bahkan mungkin belum ada sama sekali. Namun demikian, didalam peranannya untuk reproduksi, telah dibuktikan bahwa defisiensi vitamin A dapat mengganggu proses pembentukan sperma tikus jantan (Combs, 1992). Selanjutnya terbukti pula terjadinya penurunan motilitas sperma dan peningkatan persentase abnormalitas spermatozoa dari sapi jantan yang diberi pakan defisiensi akan vitamin A. Hasil penelitian Alava et al. (1993) membuktikan bahwa vitamin A sangat esensial untuk perkembangan gonad udang.

Dari uraian di atas terlihat bahwa jumlah vitamin A yang memadai akan berpengaruh positif pada kualitas telur udang dan keturunan dari hewan menyusui serta manusia. Seperti telah diketahui secara umum bahwa proses pembentukan organ pada ikan berbeda dengan manusia ataupun hewan menyusui, yakni pada ikan proses tersebut terjadi di luar tubuh induk. Namun demikian, telur yang dihasilkan oleh ikan biasanya mempunyai pola kandungan nutrisi yang sesuai dengan pola pakan induknya.

Oleh karenanya, baik kelebihan maupun kekurangan vitamin A pada ikan akan mempengaruhi kualitas telur.

Disamping itu salah satu unsur mineral seperti seng (Zn) juga berpengaruh terhadap proses reproduksi ikan dan akhirnya juga akan berpengaruh terhadap kualitas telur. Seng adalah esensial untuk pertumbuhan normal, reproduksi, dan kemungkinan hidup (life expectancy) hewan dan mempunyai pengaruh yang berguna terhadap proses-proses perbaikan jaringan dan penyembuhan luka. Pengaruh seng terhadap proses fisiologis ini dapat dihubungkan dengan observasi bahwa penurunan aktivitas timidinkinase yang diperlukan untuk sintesis DNA dan pembelahan sel merupakan gangguan metabolisme dini pada defisiensi seng. Seng merupakan komponen penting dari sejumlah enzim yang terdapat dalam jaringan hewan, termasuk alkohol dehidrogenase, alkali fosfatase, karbonat anhidrase, prokarboksipeptidase, dan superoksida dismutase sitosol (yang juga mengandung tembaga).

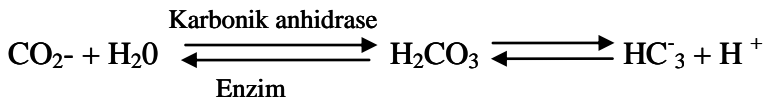
Seng adalah mikromineral yang ada di mana-mana dalam jaringan manusia/hewan dan terlibat dalam fungsi

berbagai enzim dalam proses metabolisme. Zn diperlukan untuk aktivitas lebih dari 90 enzim yang ada hubungannya dengan metabolisme karbohidrat dan energi, degradasi/sintesis protein, sintesis asam nukleat, biosintesis heme, transpor CO_2 (anhidrase karbonik) dan reaksi-reaksi lain. Pengaruh yang paling nyata adalah dalam metabolisme, fungsi dan pemeliharaan kulit, pankreas dan organ-organ reproduksi pria, walaupun memegang peranan esensial dalam semua sel dan kalau defisiensi Zn akan menyebabkan perubahan yang luas. Dalam pankreas, Zn ada hubungannya dengan kebanyakan sekresi protease yang dibutuhkan untuk pencernaan. Juga ada hubungannya dengan insulin, walaupun tidak memegang peranan secara langsung terhadap aktivitas insulin. Seng diperlukan untuk perkembangan fungsi reproduksi pria dan spermatogenesis, terutama perubahan testosteron menjadi dehidrotestosteron yang aktif, peranan Zn dalam metabolisme kulit dan tenunan pengikat adalah didalam sintesis protein dan mungkin juga dalam replikasi sel, walaupun belum jelas mekanismenya.

Di antara sekian banyak enzim ber-Zn, eritrosit karbonik anhidrase esensial untuk keseimbangan asam basa. Superoksida dismutase (yang membutuhkan Cu dan Zn) didapatkan dalam semua sel, dimana diperkirakan memainkan peranan pertahanan/difusi dalam pembuangan anion-anion superoksida yang rusak. Zn memegang peranan bukan hanya dalam metabolisme antara, tetapi juga dalam detoksifikasi alkohol dan dalam metabolisme vitamin. Dehidrogenase retina (dalam retina), terlibat dalam metabolisme pigmen visi bervitamin A, suatu enzim yang membutuhkan Zn. Disamping itu Zn perlu untuk sintesis protein pengikat retinol dalam hati yang dibutuhkan untuk distribusi vitamin melalui plasma.

Sebanyak 70 macam enzim metal (Metalloenzyme) memerlukan mineral seng agar dapat berfungsi, termasuk diantaranya enzim-enzim karbonik anhidrase, alkalinfosfatase, laktat dehidrogenase dan karboksiptidase. Dalam hal ini enzim berperan untuk membantu mengikat enzim dan sekaligus menggabungkan asam-asam amino dengan struktur proteinnya. Beberapa metaloenzim berperan dalam mengatur pertumbuhan sel.

Berikut adalah reaksi yang terjadi dalam tubuh yang aktifitasnya memerlukan enzim anhidrase:



Enzim karbonik anhidrase terutama ditemukan dalam sel-sel darah merah dan dalam sel-sel parietal yang terdapat dalam lambung. Reaksi ini memegang peranan penting dalam transport karbon dioksida oleh darah pada mekanisme respirasi. Reaksi ini juga bertanggung jawab terhadap timbulnya keracunan dalam darah yang diakibatkan oleh produksi HCl dari lambung yang menyebabkan suasana lambung menjadi kurang lebih 3 juta kali lebih asam dibandingkan dengan dalam darah. Beberapa metaloenzim lain yang mengandung mineral seng antara lain pankreatik karboksipeptidase, alkohol dehidrogenase, malate dehidrogenase, glutamat dehidrogenase dan triptophan desmolase. Selain itu mineral seng berperan sebagai kofaktor dalam beberapa sistem enzim diantaranya arginase, enolase, peptidase, oksaloasetik dekarboksilase dan karnosinase.

Selain berfungsi dalam mengatur aktifitas enzim, mineral seng berperan pula dalam metabolisme asam nukleat dan dalam sintesis protein. Meskipun peranan mineral seng belum seluruhnya diketahui, mineral ini merupakan bagian integral dari molekul asam ribonukleat (RNA) beberapa spesies dan berfungsi membantu konfigurasi molekul yang stabil. Mineral seng juga mempunyai peranan penting dalam pembelahan sel. Oleh karena itu pada tikus yang defisiensi seng tidak terjadi penggabungan thymidine kedalam DNA. Terbukti bahwa mineral seng sangat diperlukan untuk sintesis DNA dan untuk aktivitas enzim DNA polimerase, yaitu enzim yang bergantung pada mineral seng, seperti juga halnya enzim thymidine kinase.

Seng berperan pula dalam pembentukan tulang yang berhubungan dengan sistem enzim. Ikan *Japanese quail* menyimpan kelebihan seng yang dikonsumsinya di tulang. Pada ikan guppy yang mengkonsumsi Zn berlebih sampai 0.3 g/kg, penumpukan seng terdapat di tulang. Para ahli nutrisi menduga adanya hubungan antara mineral seng dengan hormon insulin, glukogen, follicle stimulating

hormon (FSH), luteinizing hormon (LH) dan hormon kortikotropin. Namun demikian peranan spesifik mineral seng dalam fungsi hormon belum diketahui secara jelas. Seng juga esensial untuk struktur dan fungsi insulin, serta merupakan faktor pembantu untuk anhidrase karbonat.

Insulin membentuk kompleks dengan seng, yang memungkinkan dibentuknya kristal-kristal insulin-seng selama pemurnian insulin. Seng yang terikat pada molekul insulin menambah lamanya kerja insulin bila diberikan secara suntikan. Kompleks-kompleks insulin-seng juga terdapat dalam sel β pankreas, dan ada bukti menunjukkan bahwa seng yang dipakai dalam sel-sel tersebut digunakan untuk menyimpan dan melepaskan insulin bila diperlukan. Insulin adalah suatu hormon protein yang dihasilkan oleh pulau-pulau langerhans yang merupakan 1% dari jaringan pankreas. Kristalisasi insulin memerlukan sedikit seng (Zn) yang mungkin merupakan suatu unsur dari insulin yang disimpan karena pulau-pulau normal relatif kaya akan elemen ini. Insulin memegang peranan penting pada metabolisme, menyebabkan kenaikan metabolisme karbohidrat, penyimpanan glikogen, sintesis asam lemak,

uptake asam amino dan sintesis protein. Jadi insulin merupakan suatu hormon anabolik yang penting yang bekerja pada berbagai jaringan termasuk hati, lemak dan otot. Kemampuan insulin untuk mempermudah transport menyebabkan peningkatan semua jalan reaksi metabolisme glukosa, termasuk penyimpanan glikogen, perangsangan heksosa monofosfat yang menyebabkan kenaikan pembentukan NADPH, peningkatan glikolisis, peningkatan oksidasi dan kenaikan sintesis asam lemak. Dalam jaringan adiposa insulin menaikkan sintesis lipid dengan menyediakan asetil-KoA dan NADPH yang diperlukan untuk sintesis asam lemak serta gliserol untuk sintesis triagliserol. Insulin dapat langsung menaikkan sintesis protein sebab hormon ini mempermudah penggabungan asam amino intrasel yang diberi label ke dalam protein. Insulin dapat bekerja pada tingkat ribosom untuk menaikkan kemampuan organel ini dalam mentranslasi informasi dari mRNA ke alat sintesis protein.