BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aktifitas fisik

2.1.1 Definisi

Aktifitas fisik adalah setiap pergerakan tubuh akibat aktifitas otot – otot skelet yang mengakibatkan pengeluaran energi. Setiap orang melakukan aktifitas fisik antara individu satu dengan yang lain tergantung gaya hidup perorangan dan faktor lainnya. Aktifitas fisik terdiri dari aktifitas selama bekerja, tidur, dan pada waktu senggang. Latihan fisik yang terencana, terstruktur, dilakukan berulang-ulang termasuk olahraga fisik merupakan bagian dari aktifitas fisik. Aktifitas fisik sedang yang dilakukan secara terus menerus dapat mencegah resiko terjadinya penyakit tidak menular seperti penyakit pembuluh darah, diabetes, kanker dan lainnya (Kristanti *et al*., 2002).

Terdapat beberapa pengertian dari beberapa ahli mengenai aktivitas fisik diantaranya menurut Almatsier (2003) aktivitas fisik ialah gerakan fisik yang dilakukan oleh otot tubuh dan sistem penunjangnya. Aktivitas fisik adalah setiap gerakan tubuh yang

dihasilkan oleh otot rangka yang memerlukan pengeluaran energi. Aktivitas fisik yang tidak ada (kurangnya aktivitas fisik) merupakan faktor risiko independen untuk penyakit kronis, dan secara keseluruhan diperkirakan menyebabkan kematian secara global (WHO, 2010). Aktifitas fisik merupakan kerja fisik yang menyangkut sistem lokomotor tubuh yang ditujukan dalam menjalankan aktifitas hidup sehari-harinya, jika suatu aktifitas fisik memiliki tujuan tertentu dan dilakukan dengan aturan aturan tertentu secara sistematis seperti adanya aturan waktu, target denyut nadi, jumlah pengulangan gerakan dan lain – lain disebut latihan. Sedangkan yang dimaksud dengan olahraga adalah latihan yang dilakukan dengan mengandung unsur rekreasi (Lesmana, 2002).

2.1.2 Manfaat aktifitas fisik

Cara yang paling sederhana untuk meningkatkan kekebalan tubuh adalah dengan melakukan latihan fisik/ olahraga serta istirahat dan tidur yang cukup. Latihan fisik ringan sekalipun, seperti aerobik selama 30 menit, mampu mengaktifkan kerja sel darah putih, yang merupakan komponen utama kekebalan tubuh pada sirkulasi darah. Idealnya melakukan latihan aerobik selama 30 menit (Yuliarto, 2012).

Menurut Kristanti (2002) pengaruh aktifitas fisik dapat seketika yang disebut respon akut dan pengaruh jangka panjang akibat latihan yang teratur dan terprogram yang disebut adaptasi. Termasuk respon akut adalah bertambahnya frekwensi denyut jantung, peningkatan frekwensi pernapasan, peningkatan tekanan darah dan peningkatan suhu badan. Termasuk adaptasi antara lain peningkatan massa otot, bertambahnya massa tulang, bertambahnya sistem pertahanan atioksidan serta penurunan frekuensi denyut jantung istirahat. Aktifitas fisik terjadi pada berbagai domain/tempat misalnya di tempat kerja, pada saat bepergian, di tempat – tempat khusus olahraga, dan pada waktu senggang mapun rekreasi.

2.1.3 Sistem Energi pada Aktifitas Fisik

Aktifitas fisik dibagi dalam 3 domain yaitu kegiatan fisik berhubungan dengan pekerjaan dan kegiatan fisik di luar pekerjaan serta kegiatan fisik yang berhubungan dengan perjalanan (Kristanti *et al*., 2002). Menurut (Fox 2008) aktifitas fisik berdasarkan sumber tenaganya atau pembentukan *adeno triphospat* (ATP) melalui tiga sistem 1) Sistem aerobik, 2) Sistem glikolisis anaerobik *(Lactic acis system)* dan 3) Sistem ATP- Creatin Phospat *(Phospagen system)*.

2.2 Olahraga

2.2.1 Definisi

Olahraga merupakan salah suatu aktifitas fisik yang teratur dan terstruktur untuk meningkatkan ketahanan fisik sekaligus sebagai upaya memelihara kesehatan dan kebugaran. Latihan fisik merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan imunitas dan serta kemampuan fungsional tubuh. Latihan fisik dapat berupa latihan yang bersifat aerobik maupun anaerobik. Latihan aerobik adalah latihan yang memerlukan oksigen untuk pembentukan energinya yang dilakukan secara terus menerus, ritmis, dengan melibatkan kelompok otot – otot besarterutama otot tungkai pada intensitas latihan 60-90% dari *Maximal Heart Rate* (MHR) dan 50 – 85 % dari prnggunaan maksimal oksigen selama 20 – 50 menit dengan frekuensi latihan tiga kali perminggu (Kusmaningtyas, 2011).

Menurut Irawan (2007) di dalam berbagai jenis olahraga baik olahraga dengan gerakan-gerakan yang bersifat konstan seperti *jogging*, marathon dan bersepeda atau juga pada olahraga yang melibatkan gerakan-gerakan yang *explosif* seperti menendang bola atau gerakan smash dalam olahraga tenis atau bulutangkis, jaringan otot hanya akan memperoleh energi dari pemecahan molekul *adenosetriphospate* atau yang biasa di singkat sebagai ATP. Melalui simpanan energi yang terdapat di dalam tubuh yaitu

simpanan *phosphocreatine* (PCr), karbohidrat, lemak dan protein, molekul ATP ini akan dihasilkan melalui metabolisme energi yang akan melibatkan beberapa reaksi kimia yang kompleks. Penggunaan simpanan-simpanan energi tersebut beserta jalur metabolisme energi yangakan digunakan untuk menghasilkan molekul ATP ini juga akan bergantung terhadap jenis aktivitas serta intensitas yang dilakukan saat berolahraga. Perkataan olahraga mengandung arti akan adanya sesuatu yang berhubungan dengan peristiwa mengolah yaitu mengolah raga atau mengolah jasmani. Selaras dengan hal itu mengatakan bahwa olahraga adalah serangkaian gerak raga yang teratur dan terencana yang dilakukan orang dengan sadar untuk meningkatkan kemampuan fungsionalnya (Giri, 2005).

2.2.2 Olahraga aerobik

Aktivitas olahraga berdasarkan sifat konsumsi oksigen dibagi menjadi dua macam yaitu aktivitas olahraga aerobik dan aktivitas olahraga anaerobik. Aktivitas olahraga aerobik merupakan aktivitas olahraga yang dalam kegiatannya memerlukan oksigen, sedangkan aktivitas olahraga anaerobik memerlukan aktivitas fisik yang dalam kegiatannya tidak memerlukan oksigen (Olivia, 2003). Aktivitas olahraga aerobik merupakan jenis olahraga yang dapat meningkatkan kesehatan jantung dan paru. Aktivitas olahraga aerobik dapat memberikan hasil yang maksimal jika dilakukan

secara rutin dan efektif sehingga mencapai tujuan tidak menimbulkan cedera (Purba, 2003). Olahraga aerobik adalah olahraga yang dilakukan secara terus menerus dimana kebutuhan oksigen ,masih dapat dipenuhi oleh tubuh. Olahraga aerobik dibagi dalam 3 tipe :

a. Tipe 1 :

   Olahraga dengan naik-turunnya denyut nadi yang relatif stabil

   Contoh : jalan, lari sepeda dan *treadmill*

b. Tipe 2 :

   Olahraga dengan naik turunnya denyut nadi secara bertahap

   Contoh : senam, dansa, renang

c. Tipe 3 :

   Olahraga dengan naik turunnya denyut nadi secara mendadak, umumnya dalam bentuk permainan

   Contoh : sepak bola, basket, voli, tenis lapangan, tenis meja.

Menurut Garrison (2007) dua ciri dari latihan aerobik adalah (1) Olahraga tersebut cukup memberikan banyak gerakan tubuh yang mengakibatkan tubuh anda berfungsi untuk jangka waktu sedikitnya 20 sampai 30 menit setiap kali berolahraga, (2) Olahraga tersebut akan memberikan kegiatan yang cukup menarik hingga ingin mengulanginya kembali terus menerus untuk yang akan datang.

Berdasarkan teori dari *American College of Sport Medicine* (ACSM) intensitas latihan harus mencapai 60-90% dari MHR dihitung dengan rumus 220-umur(tahun). Berdasarkan MHR yang dicapai untuk latihan fisik ada beberapa macam, yaitu :

1) Intensitas sangat ringan <50% MHR
2) Intensitas ringan 50-63% MHR
3) Intensitas sedang 64-76% MHR
4) Intensias tinggi 77-93% MHR
5) Sangat tinggi >94% MHR

Latihan aerobik dengan intensitas yang berbeda, energi utama yang digunakan juga berbeda pula. Latihan aerobik yang dilakukan setiap hari, seperti *jogging* atau renang, senam akan menimbulkan beberapa perubahan karena adanya stimulus pada otot. Latihan aerobik dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan kardiovaskular dan untuk menurunkan berat badan. Olahraga aerobik atau yang biasa disebut latihan kardiovaskular meningkatkan fungsi kerja paru, jantung dan melancarkan sirkulasi darah, sehingga tubuh mendapatkan dan menggunakan oksigen lebih baik untuk metabolisme sel.

Perkiraan detak jantung maksimal adalah 220 dikurang dengan umur saat ini. *America health asociation* (AHA) juga menganjurkan olahraga aerobik dilakukan dalam 20-30 menit

perharinya untuk mengurangi risiko terkena penyakit jantung koroner. Frekuensi atau jumlah hari untuk olahraga dalam seminggu yang dianjurkan adalah 3-7 hari perminggu (AHA, 2011). Menurut salah satu institusi kesehatan jantung dan toraks terbesar di Amerika Serikat, *Cleveland Clinic* (2011), olahraga aerobik memiliki tiga bagian yang utama, yaitu:

a. *Warm-up*

   Pada bagian *warm-up* atau biasa disebut pemanasan, dilakukan latihan gerakan-gerakan dengan intensitas rendah selama 3-5 menit

b. *Conditioning*

   Pada bagian ini dilakukan latihan aerobik dalam durasi 30-45 menit sampai mencapai maksimal heart rate (MHR) yang diinginkan

c. *Cool-down*

   Bagian ini memerlukan waktu selama 3-5 menit dengan latihan intensitas rendah untuk menurunkan detak jantung secara perlahan dan mengurangi risiko kecelakaan.

Intensitas latihan menggambarkan besarnya upaya yang harus dilakukan pada saat latihan, salah satunya adalah latihan bersifat aerobik. Latihan intensitas sedang juga merupakan bagian dari latihan *cardio* yang dapat dilakukan dengan *treadmill,* (jalan dan lari), bersepeda, menaiki anak tangga dengan mesin, renang,

badminton, tennis, volly, mendaki gunung, dan *jogging* (Puspa, 2009).

2.3 *Jogging*

Joging termasuk olahraga yang mempunyai nilai aerobik yang tinggi, segera setelah berenang. Karena *jogging* merupakan aktifitas aerobik, maka terutama bermanfaat untuk meningkatkan dan mempertahankan kesehatan dan kebugaran dari jantung, paru-paru peredaran darah dan otot-otot dan sendi tungkai. Latihan *jogging* merupakan salah satu olahraga aerobik dengan intensitas sedang. Gerakan ini sangat berguna bagi daya tahan, kesehatan dan kebugaran tubuh. Lari ini lebih mementingkan ketahanan tubuh dibandingkan kecepatan. Latihan *jogging* dilakukan dengan langkah pendek, tetap, dan santai. Saat berlari, bernafas dengan santai dan bersamaan dengan langkah kaki (Wahyu, 2013).

Bentuk latihan jasmani untuk meningkatkan kadar leukosit total ada banyak terutama aerobik. Adapun jenis latihannya yaitu latihan berupa lari, *jogging*, bersepeda, berenan, dan latihan beban. Salah satu aktivitas aerobik yang paling digemari masyarakat adalah *jogging*. Latihan *jogging* merupakan salah satu latihan yang mudah, murah, dan dapat dilakukan oleh siapapun. Latihan *jogging* dilakukan dengan cara lari-lari kecil atau lari pelan. Gerakan ataupun teknik dalam melakuka latihan *jogging* dapat dikatakan sederhana akan tetapi manfaat bagi kondisi fisik dan pemeliharaan kebugaran dan kesehatan sangat luar biasa. Berdasarkan

sistem penyediaan energi, *jogging* dapat dikategorikan ke dalam jenis olahraga aerobik (Irianto, 2009).

2.4 Leukosit

Leukosit merupakan unit yang mobil/aktif dari sistem pertahanan tubuh. Leukosit ini sebagian dibentuk di sumsum tulang (granulosit dan monosit serta sedikit limfosit) dan sebagian lagi di jaringan limfe (Limfosit sel-sel plasma). Setelah dibentuk, sel – sel ini diangkut dalam darah menuju berbagai bagian tubuh untuk digunakan (Guyton & Hall, 2008). Leukosit dan turunannya berperan sebagai (1) menahan invasi oleh patogen (mikroorganisme penyebab penyakit misalnya bakteri dan virus) melalui proses fagositosis; (2) mengidentifikasikan dan menghancurkan sel-sel kanker yang muncul di dalam tubuh; dan (3) berfungsi sebagai petugas pembersih yang membersihkan sampah tubuh dengan memfagositosis debris yang berasal dari sel yang mati atau cedera. Yang terakhir penting dalam penyembuhan luka dan perbaikan jaringan. Untuk melaksanakan fungsinya, leukosit terutama menggunakan strategi " *search and fight*" yaitu sel-sel tersebut pergi ke tempat invasi atau jaringan yang rusak. (Sherwood, 2006).

Tabel 1. Kadar leukosit normal

Usia	Kadar leukosit (sel/mm^3)
Waktu lahir	15000 – 25000
Menjelang hari ke-4	12000
4 tahun	Normal
14-15 tahun	> 11000
Dewasa	4000 – 11000

Sumber : Guyton and Hall, 2008

Leukosit mempunyai peranan dalam pertahanan seluler dan humoral organisme terhadap zat-zat asing. Leukosit dapat melakukan gerakan amuboid dan melalui proses diapedesis leukosit dapat meninggalkan kapiler dengan menerobos antara sel endotel dan menembus kedalam jaringan penyambung. Manfaat sesungguhnya dari sel darah putih adalah bahwa kebanyakan ditransport secara khusus ke daerah yang terinfeksi dan mengalami peradangan serius. Jadi, menyediakan pertahanan cepat dan kuat terhadap setiap bahan infeksius yang mungkin ada (Guyton and Hall, 2008).

Terdapat dua jenis leukosi agranuler : limfosit sel kecil, sitoplasma sedikit; monosit sel agak besar mengandung sitoplasma lebih banyak. Terdapat tiga jenis leukosit granuler : Neutrofil, Basofil, dan Asidofil (eusinofil) yang dapat dibedakan dengan afinitas granula terhadap zat warna netral basa dan asam. Granula dianggap spesifik bila ia secara tetap terdapat dalam jenis leukosit tertentu dan pada sebagian besar prekursor (Guyton, 2008). Jumlah leukosit dalam sirkulasi sangat mudah dan cepat berubah. Nilai absolut maupun relatif dapat berubah oleh stimulus selama beberapa menit atau beberapa jam. Dampak yang paling jelas terlihat bila kelenjar adrenal dirangsang, baik secara farmakologis maupun sebagai respon terhadap kebutuhan fisiologis. Sebagian besar stimulasi fisiologis seperti olahraga, emosi, pemaparan terhadap suhu yang ekstrim, mengakibatkan leukositosis (Natale, 2003).

2.5 Jenis Leukosit

Leukosit merupakan sel yang membentuk komponen darah yang diproduksi di dalam organ hemopoietik. Leukosit dibedakan menjadi dua seri yaitu seri granulosit dan seri agranulosit. Disebut seri granulosit karena pada pengecatan Romanowsky ditemukan granula spesifik pada sitoplasma sel tersebut yang dapat dibedakan menjadi tiga jenis sel yaitu neutrofil, eosinofil, dan basofil. Pada leukosit seri agranulosit tidak mengandung granula spesifik dan tidak memiliki nukleus yang berlobus yang dapat dibedakan menjadi dua jenis sel yaitu limfosit, dan monosit (Hoffbrand, 2005). Jumlah leukosit total pada orang dewasa menurut Barbara Brown adalah 4,5-11 x 10^3/µl. Neutrofil merupakan jenis leukosit terbanyak. Bentuk netrofil mudah dikenali dari bentuk nukleusnya yang terdiri dari dua lobus atau lebih yang dihubungkan dengan benang tipis dan mempunyai granula halus. Diameternya 7-9 µm. Dalam sirkulasi darah jumlah netrofil mencapai 65-75% dari jumlah seluruh leukosit (Hoffbrand, 2005). Jenis leukosit yang dikerahkan pada peradangan akut ini adalah neutrofil. Leukosit itu sendiri dapat menimbulkan lesi yang lebih luas pada daerah iskemik dengan cara menyumbat mikrosirkulasi dan vasokonstriksi serta infiltrasi ke neuron kemudian melepaskan enzim hidrolitik, pelepasan radikal bebas dan lipid peroksidase (Laura, 2013).

Eosinofil dibedakan dengan neutrofil dari granula spesifiknya yang besar dan kasar yang terpulas merah muda dengan eosin dalam pulasan darah Wright dan granula ini tidak menutupi inti selnya. Pada umumnya

memiliki dua lobus dan berbentuk seperti kacamata. Jumlah eusinofil hanya 1-4% leukosit darah, mempunyai garis tengah µm (sedikit lebih kecil dari neutrofil). Peningkatan eusinofil di dalam darah (eusinofilia) dikaitkan dengan keadaan – keadaan alergi (misalnya asma dan hay fever) dan dengan infestasi parasit internal (misalnya cacing). Eusinofil jelas tidak dapat memakan cacing parasitik yang berukuran jauh lebih besar, tetapi sel sel ini melekat ke cacing dan mengeluarkan bahan – bahan yang dapat mematikan cacing tersebut (Sherwood, 2006).

Basofil merupakan leukosit granular yang paling sedikit jumlahnya. Bentuknya dibedakan dengan neutrofil dari bentuk inti selnya yang berbentuk U atau J dengan granula kasar tidak sama ukurannya, penuh sampai menutupi ini sehingga cenderung mengaburkan batas inti sel (Hoffbrand, 2005). Sirkulasi basofil dalam darah mirip dengan *sel mast* besar di sisi luar kebanyakan kapiler dalam tubuh yang dapat mencegah pembekuan darah dan dapat mempercepat perpindahan partikel lemak dari darah sesudah makanan berlemak (Guyton and Hall, 2008).

Limfosit merupakan sel yang sferis, garis tengah 6-8µm, 20-30% leukosit darah. Dalam keadaan normal, inti relatif besar bulat sedikit cekungan pada satu sisi, kromatin inti padat, anak inti dapat terlihat dengan mikroskop elektron. Sitoplasma sedikit sekali, sedikit basofilik, mengandung granula-granula azurofilik. Klasifikasi lainnya dari limfosit terlihat dengan ditemuinya tanda-tanda molekuler khusus pada permukaan membran-membran sel tersebut. Beberapa diantaranya membawa reseptor

seperti imunoglobulin yang mengikat antigen spesifik pada membrannya. Limfosit dalam sirkulasi darah normal dapat berukuran 10-12 µm ukuran yang lebih besar disebabkan sitoplasmanya yang lebih banyak. Kadang – kadang disebut limfosit sedang. Sel limfosit besar yang berada dalam kelenjar getah bening akan tampak dlam arah dalam keadaan patologis. Limfosit-limfosit dapat digolongkan berdasarkan asal, struktur halus, surface markers yang berkaitan dengan sifat imunologisnya, siklus hidup dan fungsi (Sherwood, 2006).

Monosit merupakan sel besar dengan inti biasanya terletak eksentris dengan bentuk ginjal karena memiliki lekukan yang dalam. Sitoplasma relatif banyak dan mengandung vakuola. Setelah bersirkulasi dalam pembuluh darah selama 20-40 jam, monosit akan memasuki jaringan untuk menjadi matur dan dan menjalankan fungsinya sebagai makrofag (Hoffbrand, 2005). Leukosit membangun mekanisme utama tubuh dalam melawan infeksi melalui proses fagositosis, dimana leukosit akan menyelimuti organisme asing dan kemudian akan menghancurkannya. Leukosit juga memproduksi, mengangkut, dan mendistribusi antibodi sebagai bagian dari suatu respon imun terhadap suatu antigen (Hoffbrand, 2005). Sel leukosit yang berperan dalam sistem imun nonspesifik adalah fagosit mononuklear yang tediri dari monosit-makrofag dan polimorfonuklear yang terdiri dari eosinofil, basofil, neutrofil serta sel *Natural Killer*, dan sel mediator. Sel leukosit yang berperan dalam sistem imun spesifik adalah limfosit T dan limfosit B. Walaupun sebagian besar

leukosit yang berperan dalam proses fagositosis adalah neutrofil dan monosit, namun neutrofil lebih berperan dalam suatu respon radang kecuali apabila partikel asing tersebut berukuran besar. Neutrofil berperan dalam aktivitas fagositosis umum (Hoffbrand, 2005).

Fungsi dari fagositosis melibatkan neutrofil dan makrofag yang berarti pencernaan seluler terhadap agen yang mengganggu. Sel fagosit harus memilih bahan-bahan yang akan difagositosis jika tidak maka sel normal dan struktur tubuh akan dicerna pula. Terjadinya fagositosis terutama bergantung pada tiga prosedur selektif. Pertama, sebagian besar struktur alami dalam jaringan memilki permukaan halus yang dapat menahan fagositosis. Sebaliknya jika permukaan sel kasar maka kecenderungan peningkatan fagositosis akan meningkat. Kedua, sebagian besar bahan alami tubuh mempunyai selubung protein pelindung yang menolak fagositosis. Sebaliknya, sebagian besar jaringan mati dan partikel asing tidak mempunyai selubung pelindung, sehingga jaringan atau partikel tersebut menjadi subyek untuk difagositosis. Ketiga sistem imun tubuh membentuk antibodi untuk melawan agen infeksius. Antibodi kemudian melekat pada membran bakteri dan dengan demikian membuat bakteri menjadi rentan khususnya terhadap fagositosis. Untuk melakukan hal ini, molekul antibodi juga bergabung dengan produk C3 dari *kaskade komplemen*, yang merupakan bagian tambahan dari sistem imun. Molekul C3 kemudian melekatkan diri pada reseptor diatas membran sel fagosit, dengan demikian terjadi respon fagositosis. (Guyton and Hall,2008)

Leukosit		Keterangan
Bergranula	Basofil	• Setiap mm^3 darah mengandung 20–50 butir. • Plasma bersifat basa dan terdapat bintik-bintik biru yang mengandung histamin. • Bersifat fagosit.
	Eosinofil	• Tiap mm^3 darah mengandung 100–400 butir. • Plasma bersifat asam dan terdapat bintik-bintik biru. • Bersifat fagosit.
	Neutrofil	• Tiap mm^3 darah mengandung 3.000–7.000 butir. • Plasma bersifat netral dan terdapat bintik-bintik. • Bersifat fagosit.
Tidak Bergranula	Limfosit	• Tiap mm^3 darah mengandung 1.500–3.000 butir. • Dapat bergerak bebas, dapat membentuk zat antibodi.
	Monosit	• Tiap mm^3 darah mengandung 100–700 butir. • Dapat bergerak cepat. • Bersifat fagosit. • Monosit dapat membesar dan berkembang menjadi makrofag. Makrofag merupakan sel fagositik terbesar dan berumur panjang.

Gambar 3. Mikroskopis jenis leukosit

2.6 Pembentukan dan Migrasi Leukosit

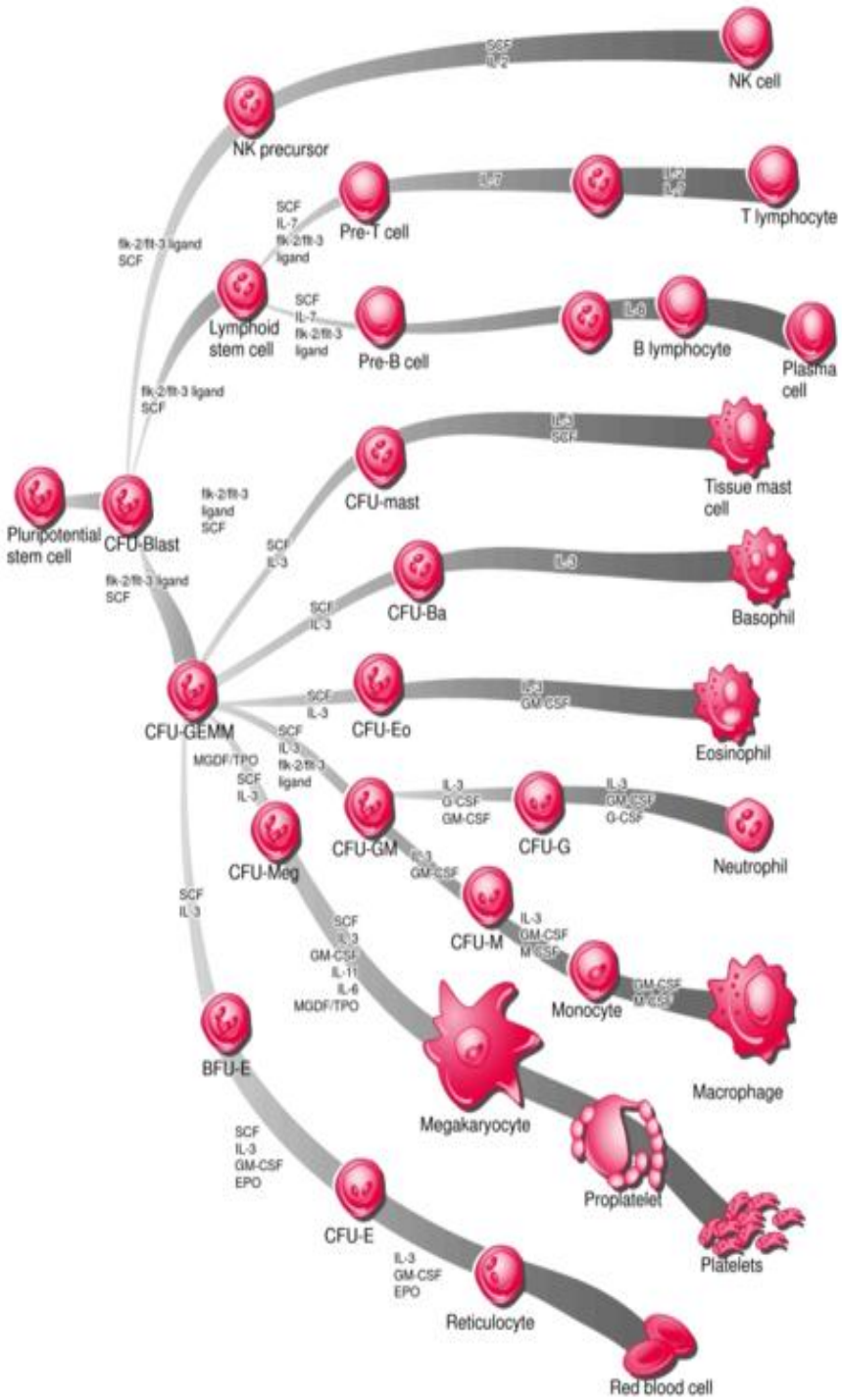
Diduga sekarang bahwa sel asal umum (pluripotensial), setelah sejumlah pembelahan sel dan langkah diferensiasi, menjadi urutan sel progenitor untuk tiga jalur sel sumsum tulang utama yaitu, Eritroid, Granulosit dan Monositik, dan Megakariosit, sebagaimana sel asal limfoid. Walaupun penampilan sel asal pluripotensial mungkin serupa dengan limfosit kecil atau sedang, kehadirannya dapat ditunjukkan dengan tehnik kultur. Keberadaan sel progenitor terpisah untuk tiga garis sel tersebut juga telah diperlihatkan oleh tehnik biakan di luar tubuh (in-vitro). Prekursor mieloid yang paling dini dideteksi membentuk granulosit, eritroblas, monosit dan megakariosit dan diberi istilah CFU GEMM (CFU = *colony forming unit in culture medium*). Progenitor yang lebih matang dan khusus dinamakan CFUGM (granulosit dan monosit), CFUEO (eosinofil), CFUe (eritroid), dan CFUmeg (megakariosit), BFUe, *(burst forming unit, eritrosit)* merupakan progenitor eritroid yang lebih dini daripada CFUe. Sel asal (*stem sel*) juga memiliki kemampuan untuk memperbarui diri kembali, sehingga walaupun sumsum tulang adalah tempat utama produksi sel baru, jumlah sel keseluruhan tetap konstan pada keadaan seimbang dan normal. Akan tetapi, sel precursor sanggup member respon terhadap berbagai rangsang dan pesan hormonal dengan meningkatnya satu atau lain garis sel bila kebutuhan meningkat Tigaperempat dari sel-sel yang berinti di sumsum tulang memproduksi leukosit. Stem sell ini berproliferasi dan berdifferensiasi menjadi granulosit (neutrophil, eosinofil dan basofil), monosit dan limfosit, yang bersama terdiri absolute hitung leukosit.

Pematangan sel leukosit di sumsum tulang dan penglepasan ke sirkulasi dipengaruhi oleh berbagai faktor interleukin, tumor nekrosis faktor (TNF) dan beberapa komponen complement. Kira-kira 90% dari leukosit berada di penyimpanannya di sumsum tulang, 2 - 3% di sirkulasi dan 7 - 8% berlokasi di jaringan (Hoffbrand, 2005).

Sumsum tulang sel-sel digolongkan menjadi dua kelompok : satu kelompok adalah proses sintesa dan pematangan DNA, sedangkan kelompok yang lain pada fase penyimpanan yang menunggu pelepasan ke dalam sirkulasi. Sel-sel yang dalam penyimpanan ini secara cepat dapat merespon bedasarkan kebutuhan untuk meningkatkan leukosit sampai 2 - 3 kali lipat leukosit di sirkulasi dalam 4 -5 jam (Hoffbrand, 2005). Dalam sirkulasi, neutrofil di golongkan kedalam dua *pool*. Satu *pool* disirkulasi bebas dan yang kedua adalah *pool* di tepi dinding pembuluh darah. Ketika adastimulasi oleh infeksi, inflamasi, obat atau toksin metabolik pool sel yang di tepi dinding pembuluh darah akan melepaskan diri kedalam sirkulasi (Hoffbrand, 2005).

Setelah terjadi kematian sel, leukosit dilepaskan dalam sirkulasi dan jaringan, yang memerlukan waktu hanya beberapa jam (3 - 6 jam).Jenis leukosit yang dikerahkan pada peradangan akut ini adaiah *polimorfonuclear* migrasi leukosit paling banyak terjadi pada 24 - 72 jam setelah onset iskemik kemudian menurun sampai hari ke 7. Perkiraan lama hidup leukosit adalah 11 - 16 hari, termasuk pematangan di surnsum

tulang dan penyimpanannya yang merupakan sebagian besar masa kehidupannya (Feierstein, 2002).



Gambar 4. Hematopoesis

Penyebab peningkatan jumlah leukosit pada dasarnya didasari oleh dua penyebab dasar yaitu:

a. Reaksi yang tepat dari surnsum tulang normal terhadap stimulasi eksternal (infeksi, inflamasi (nekrosis jaringan, infark, luka bakar, artritis), stres (*over exercise*, kejang, kecemasan, anastesi), obat (kortikosteroid, lithium, beta agonis), trauma (splenektomi), anemia hemolitik dan leukemoid maligna.
b. Efek dari kelainan sumsum tulang primer (leukemia akut, leukemia kronis).

2.7 Pengaruh olahraga terhadap kadar leukosit

Pada penelitian Nieman tahun 2000 didapatkan bahwa atlet triatlon yang melakukan lari dan bersepeda selama 2,5 jam menyebabkan terjadinya peningkatan granulosit dan monosit, serta penurunan limfosit. Hal ini karena latihan yang lama dan dengan intensitas berat menyebabkan serum kortisol meningkat secara significant diatas normal selama beberapa jam dan ini berhubungan dengan perubahan fisiologis sel. Latihan yang berat didapatkan jumlah hitung sel leukosit meningkat segera setelah latihan, mencapai puncaknya 6 jam dan tetap bertahan sampai 24 jam setelah latihan dibandingkan dengan yang tidak terlatih. Oleh karena itu diduga peningkatan hitung sel leukosit pada 6 jam pertama setelah latihan, bertanggung jawab terhadap peningkatan neutrofil. Begitu juga didapatkan dalam penelitian terjadi peningkatan neutrofil setelah latihan puncaknya 6 jam setelah latihan. Sementara itu limfosit meningkat mencapai puncaknya

pada 24 jam setelah latihan, dan menurun sampai batas minimum diwaktu yang sama pada orang tidak terlatih. Monosit juga meningkat pertama kali segera setelah latihan, dan terus bertahan selama 24 jam dengan puncaknya pada 6 jam setelah latihan. Peningkatannya ini berhubungan dengan konsumsi oksigen selama latihan tersebut. Peningkatan monosit juga dapat terjadi sampai hari keempat setelah latihan. Peningktan ini berhubungan dengan neutrofil dan kadar testosteron bebas dalam darah (Malm *et al.,* 2004).

Penelitian pada atlet dan kontrol (bukan atlet) ditemukan adanya peningkatan leukosit setelah berlari 1 – 1,5 jam, akan tetapi pada kontrol peningkatan eukosit setelah latihan sangat signifikan. Dan setelah 3 jam pada kedua kelompok ini, jumlah leukosit masih lebih tinggi pada kontrol dengan kenaikan sekitar 211% - 231% dari baselinenya. Konsentrasi neutrofil masih tinggi setelah 3 jam pada kontrol dengan peningkatan sekitar 258% dibandingkan dengan atlet yang peningkatannya hanya sekitar 142%. Monosit juga meningkat setelah 3 jam sehabis berlari pada kontrol, dengan peningkatan 171% dengan baselinenya, namum pada atlet tidak dapat dideteksi lagi. Sementara itu, 3 jam setelah berlari, perubahan limfosit pada kedua kelompok tidak signifikan (Risoy *et al*., 2003).

Hasil penelitian Tossige-Gomes pada tahun 2014 menyebutkan peningkatan jumlah absolut neutrofil dan monosit, kecuali limfosit, berpendapat bahwa beberapa leukositosis diamati pada pelari mungkin

disebabkan karena respon inflamasi karen terdapat cedera jaringan. Dalam respon inflamasi akut, neutrofil dan monosit merupakan sel pertama yang mencapai lokasi cedera, diikuti 24 sampai 48 jam kemudian oleh limfosit jika jaringan tidak diperbaiki dengan benar.

Penelitian yang melibatkan 800 orang sehat yang melakukan olahraga bersepeda selama 5 menit terjadi peningkatan leukosit yang signifikan. Peningkatan ini depengaruhi oleh peningkatan kadar kortisol dalam darah yang akan mempertahankan kadar leukosit dalam darah. Sehingga pada 800 pesepeda yang diambil darahnya setelah bersepeda selama 5 menit terjadi peningkatan leukosit (Kristin *et al.*, 2013). Penelitian Evi (2008) pada 15 orang berusia 18 – 20 tahun yang melakukan aktivitas fisik sedang (AFS) berupa naik turun bangku selama 30 menit hingga mencapai denyut nadi dari 80% denyut nadi maksimal. Penghitungan leukosit total dilakukan sebelum dan setelah melakukan aktifitas fisik sedang. Didapatkan peningkatan leukosit segera 30 menit setelah AFS (6453.33±373.14 – 7433.33±1453.89).

Tabel 2. Pengaruh Latihan Fisik Terhadap Hitung Leukosit

Nama peneliti	Subjek	Jenis Latihan	Efek
Risoy *et al*, 2003	Atlet Bukan atlet	Latihan fisik berat	Leukositosis, Leukositosis, neutrofilia dan monositosis
Tosigge-gomes, 2014	Pelari	Latihan fisik berat	Leukositosis
Irianti Evi, 2008	Orang tidak terlatih	Latihan fisik sedang	Leukositosis
Nieman, 2000	Pelari dan pesepeda	Latihan fisik berat	Leukositosis