



**FAKTOR RISIKO GEJALA PENYAKIT DEKOMPRESI
PADA NELAYAN PENCARI IKAN HIAS LAUT
DI KABUPATEN BANYUWANGI**

SKRIPSI

Oleh

**Devi Asri Saraswati
NIM 112110101120**

**BAGIAN KESEHATAN LINGKUNGAN DAN KESEHATAN KESELAMATAN
KERJA FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**FAKTOR RISIKO GEJALA PENYAKIT DEKOMPRESI
PADA NELAYAN PENCARI IKAN HIAS LAUT
DI KABUPATEN BANYUWANGI**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat untuk menyelesaikan
Program Pendidikan S-1 Kesehatan Masyarakat dan mencapai gelar Sarjana
Kesehatan Masyarakat

Oleh

**Devi Asri Saraswati
NIM 112110101120**

**BAGIAN KESEHATAN LINGKUNGAN DAN KESEHATAN
KESELAMATAN KERJA FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT, atas segala berkat limpahan karunia dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua saya Ibu Eftini Hayati dan bapak Imam Fatoni yang selalu memberikan dukungan serta doa serta kasih sayang tiada batas sehingga saya dapat menjalani kehidupan ini dengan baik.
3. Adik saya, Destiana Sasqiya Putri atas segala bantuan dan motivasi yang diberikan kepada saya.
4. Guru-guru saya di TK Jendral Sudirman, SDN Jogotrunan 1, SMPN 5 Lumajang, SMAN 1 Lumajang, guru mengaji, guru les dan semua dosen serta civitas akademika di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember yang telah memberikan ilmu yang tidak ternilai harganya, menasehati, membimbing dan juga menginspirasi saya mengenai masa depan nantinya.
5. Agama, bangsa dan almamater yang saya banggakan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.

MOTTO

Khoirunnas anfauhum linnas: Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia yang lainnya (HR. Ahmad, HR. Tabhrani dan Daruquthni. Dishahih kan al-Albani dalam “*Ash-Shahiha*).*)

Menuntut ilmu karena Allah adalah bukti ketundukan pada-Nya. Mempelajarinya dari seorang guru adalah ibadah. Melangkah menuju majelisnya adalah pembuka jalan surga. Membahasnya adalah bagian dari Jihad. Mengajarkannya adalah tasbih. Menyampaikan kepada orang yang tidak tahu adalah shadaqah. Mencerahkannya kepada orang yang berhak menerimanya adalah qurbah.**)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan,
Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan),
kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain,
dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.
(Terjemahan QS. Al-Insyirah: 6-8).***)

*) Shahihul Jami' no:3289

**) Mu'adz dalam Zaki. 2013. Al Falah Edisi 299. *Saatnya Menjadi Saudagar*. Surabaya: YDSF.

***) Al-Qur'an Surah Al-Insyirah: ayat 6-8

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Devi Asri Saraswati

NIM : 112110101120

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Faktor Risiko Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Pencari Ikan Hias Laut di Kabupaten Banyuwangi* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 7 Juni 2018

Yang Menyatakan,

Devi Asri Saraswati

NIM. 112110101120

PEMBIMBING

SKRIPSI

**FAKTOR RISIKO GEJALA PENYAKIT DEKOMPRESI
PADA NELAYAN PENCARI IKAN HIAS LAUT
DI KABUPATEN BANYUWANGI**

Oleh :

Devi Asri Saraswati

NIM 112110101120

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : dr. Ragil Ismi Hartanti, M. Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Isa Ma'rufi, S. KM., M. kes.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul *Risiko Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Pencari Ikan Hias Laut di Kabupaten Banyuwangi* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 7 Juni 2018

Tempat : Fakultas Kesehatan Masyarakat

Pembimbing

1. DPU : dr. Ragil Ismi Hartanti, M.Sc
NIP. 198110052006042002

Tanda Tangan
(.....)

2. DPA : Dr. Isa Ma'rufi, S.KM., M.Kes
NIP. 197509142008121002

(.....)

Penguji

1. Ketua : Yunus Ariyanto, S.KM., M.Kes
NIP. 197904112005011002

(.....)

2. Sekretaris : Reny Indrayani, S.KM., M.KKK.
NIP. 198811182014042001

(.....)

3. Anggota : Andi Prasetyo Gunawan S.Pi
NIP. 197904242006041023

(.....)

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat

Universitas Jember



Prasetyowati

Prasetyowati, S.KM., M.Kes
NIP. 198005162003122002

RINGKASAN

Faktor Risiko Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Pencari Ikan Hias Laut di Kabupaten Banyuwangi; Devi Asri Saraswati; 112110101120; 2018; 127 halaman; Bagian Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.

Kesehatan dan keselamatan kerja menjadi yang utama bagi setiap orang ketika melakukan pekerjaan dimanapun tempat kerjanya. Setiap pekerja memiliki hak untuk mendapatkan perlindungan. Begitu pula dengan nelayan yang dapat dikategorikan dalam pekerja informal. Para nelayan juga memiliki potensi yang sama dengan risiko yang ditimbulkan dalam pekerjaannya terutama pada nelayan pencari ikan hias laut. Salah satu penyakit akibat kerja dalam penyelaman adalah penyakit dekompresi. Penyakit dekompresi merupakan penyakit yang terjadi pada penyelam dan penambang saat kembali dari lingkungan bertekanan udara tinggi ke tekanan udara normal disebabkan terbentuknya formasi gelembung gas pada darah dan cairan tubuh dengan berbagai tingkat keluhan dan gejala, yang dapat mengenai seluruh sistem organ tubuh dengan penyebab yang sama yaitu terbentuknya gelembung N₂ dalam jaringan dan darah. Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi merupakan salah satu daerah penghasil jenis ikan hias laut. Nelayan mencari ikan hias laut menggunakan kompresor konvensional, kompresor tersebut berguna untuk mensuplai udara pernafasan bagi para penyelam melalui regulator yang dipasang pada mulut. Nelayan pencari ikan hias melakukan penyelaman dengan kedalaman kurang lebih 30 meter menyesuaikan dengan jenis tangkapan ikan yang ingin diperoleh. Pada saat menyelam penyelam hanya menggunakan baju seadanya. Berdasarkan hasil observasional yang dilakukan peneliti, dari 9 responden, 7 diantaranya mengeluhkan gangguan kesehatan seperti pusing, sendi ngilu/nyeri otot, lengan dan atau tungkai lemah dan kesemutan, yang mana keluhan tersebut berkaitan dengan faktor risiko gejala penyakit dekompresi yang bisa terjadi karena dampak dari penggunaan kompresor konvensional. Penelitian

ini bertujuan menganalisis faktor risiko gejala penyakit dekompresi pada nelayan yang menggunakan kompresor konvensional di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi.

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian analitik observasional dengan pendekatan kuantitatif. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh nelayan yang menggunakan kompresor konvensional pada Kelompok Nelayan Samudra Bakti di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi sejumlah 44 responden dengan pengambilan sampel menggunakan teknik *Simple Random Sampling*. Teknik pengumpulan data yang dilakukan yaitu melalui observasi dan wawancara yang terdiri dari karakteristik pekerja, frekuensi penyelaman, lama penyelaman, kedalaman dan kecepatan naik ke permukaan.

Berdasarkan hasil penelitian, Kelompok Nelayan “Samudra Bakti” di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi sebanyak 51,6%, nyeri sendi merupakan gejala yang sering dirasakan dan dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat hubungan signifikan pada frekuensi penyelaman dan kecepatan naik ke permukaan dan tidak terdapat hubungan signifikan pada umur, masa kerja, pengetahuan penyelaman, obesitas, kebiasaan olahraga, mengonsumsi alkohol, lama penyelaman dan kedalaman dengan terjadinya gejala penyakit dekompresi pada nelayan yang menggunakan kompresor.

Saran yang diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah penyelam yang sudah berusia lebih dari 40 tahun dan tergolong penyelam yang sering menyelam (≥ 2 kali/hari) sebaiknya mengurangi frekuensi menyelam. Penyelam sebaiknya mengikuti prosedur penyelaman yang benar dengan kecepatan naik ke permukaan sesuai dengan tabel dekompresi.

SUMMARY

Factors of Risk for Symptoms of Decompression Sickness to Fisherman Ornamental Fish Sea Finder in Banyuwangi District; Devi Asri Saraswati; 112110101120; 2018; 127 Pages. Departemen of Environmental Health and Occupational Health and Safety University of Jember

Health and working safety become prima facie for every people when [doing/conducting] work anywhere its workplace. Every worker have the right to get protection. So also with fisherman able to be categorized in informal worker. fisherman also have potency which is equal to risk which is generated in its work especially at fisherman searcher of decorative fish of sea. One of the disease effect of job/activity in diving is disease of decompression. Disease of decompression represent disease that happened at diver and mineworker of moment return from environment of bertekanan high air to caused by normal air pressure is form of gas bubble formation at body dilution and blood with various sigh storey; level and symptom, which can regarding/ hit entire/all body organ system with is same cause that is formed his/its of bubble of N_2 in blood and network. Orchard of Krajan, Countryside of Bangsring, District Of Wongsorejo Sub-Province of Banyuwangi represent one of the area producer of decorative fish type of sea. Fisherman look for decorative fish of sea use conventional kompresor, the kompresor good for exhalation air supply to all diver pass/through attached regulator at mouth. Fisherman searcher of decorative fish do/conduct diving with deepness more or less 30 metre correspond to fish capture type which wish to be obtained. At the time of diving diver only using patch up clothes. Pursuant to result of done/conducted by obsevasional is researcher, from 9 responder, 7 among others grip health trouble like is confused, stiff joint / muscle pain in bone, arm and or weak tungkai and ant, which the sigh relate to symptom risk factor disease of decompression which can happened because impact of usage of conventional kompresor. This research aim to analyse symptom risk factor disease

of decompression at fisherman using conventional kompresor in Orchard of Krajan, Countryside.

Research type which is used in this research is analytic of Cross Sectional with approach of observational. Population in this research is entire/all fisherman which is konvensional kompresor menggunakan at Group Fisherman Great Devoting in Orchard of Krajan, Countryside of Bangsring, District Of Wongsorejo Sub-Province of Banyuwangi a number of 44 responder with intake of sampel use technique of Simple Random Sampling. done/conducted Technique data collecting that is passing interview and observation which consist of worker characteristic, diving frequency, old of diving, speed and deepness climbsurface.

Pursuant to result of research, Group Fisherman "Ocean Devote" in Orchard of Krajan, Countryside of Bangsring, District Of Wongsorejo Sub-Province of Banyuwangi counted 51,6%, joint pain in bone represent symptom which is often felt and earn in drawing a conclusion that there are [relation/link] of signifikan at diving frequency and speed climb surface and do not there are relation/link of signifikan at age, year of service, knowledge of diving, obesitas, habit of athletics, consuming alcohol, old of deepness and diving with the happening of symptom disease of decompression at fisherman using kompresor.

Given suggestion pursuant to result of this research is diver which have more than 40 year and pertained diver which often diver 2 times/day better lessen frequency dive. Diver better follow real correct diving procedure with speed climb surface as according to tables of decompression.

PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan hidayah dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ *Faktor Risiko Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Pencari Ikan Hias Laut di Kabupaten Banyuwangi*”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu (S1) pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.

Kami menyampaikan terima kasih yang dalam kepada selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dr. Ragil Ismi Hartanti, M.Sc dan Dr. Isa Ma'rufi, S.KM., M.Kes selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) yang selalu memberikan masukan, saran, dan juga koreksi dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada pihak-pihak berikut:

1. Ibu Irma Prasetyowati S.KM., M.Kes selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.
2. Dr. Isa Ma'rufi, S.KM., M.Kes selaku Ketua Bagian Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember, yang sudah meluangkan waktu, pikiran, perhatian untuk membimbing dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Yunus Ariyanto, S.KM., M.Kes selaku Ketua Tim Penguji dan Reny Indrayani, S.KM., M.KKK selaku sekretaris tim penguji dan Bapak Andi Prasetyo Gunawan S.Pi selaku Anggota Penguji
4. Christiyana Sandra, S.KM., M.Kes selaku Dosen Pembimbing Akademik selama penulis menjadi mahasiswa di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.
5. Bapak Ikhwan Arief ketua kelompok nelayan samudra bakti yang telah membantu kelancaran selama proses pengambilan data hingga penelitian berlangsung.

6. Nelayan pencari ikan hias laut yang menggunakan kompresor tradisional di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi yang membantu dalam proses penelitian.
 7. Kedua Orang tua saya, Ibu Eftini Hayati dan Bapak Imam Fatoni dan keluarga besar di Lumajang yang telah memberikan dukungan dan doanya demi terselesaikan skripsi ini.
 8. Adikku, Destiana Sasqiya putri, terima kasih atas semangat dan doa yang telah diberikan, semoga kita menjadi saudara yang selalu membahagiakan dan membanggakan kedua orang tua serta keluarga besar kita.
 9. Sahabat-sahabat saya yang telah memberikan motivasi, inspirasi, dan pengalaman berharga, Adi purnomo, Aviv Mahda, Dadang Wahana, Yossi, Jabbar, Avianti Rahma Dianita, Krisnaini Haneum Permata, Siti Maliatul Muflika, Nindy Sari Isdiyningrum, Izzu, Siti Safarina, Muhammad Abdillah Akbar, Maya, Jelly, ilham, Mohammad Zainullah dan semua sahabat yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
 10. Teman-teman seperjuangan peminatan Kesehatan dan Keselamatan Kerja angkatan 2011, 2012, 2013 FKM UJ.
 11. Serta semua pihak yang membantu dalam penyusunan skripsi ini.
- Skripsi ini telah kami susun dengan optimal namun tidak menutup kemungkinan adanya kekurangan, oleh karena itu kami dengan tangan terbuka menerima saran dan masukan yang membangun. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi berbagai pihak.

Jember, 7 Juni 2018

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan penelitian	6
1.3.1 Tujuan umum	6
1.3.2 Tujuan khusus	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.4.1 Manfaat teoritis	6
1.4.2 Manfaat Praktis	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Penyakit Akibat Kerja	8
2.2 Penyelaman	8
2.2.1 Definisi penyelaman	8
2.2.2 Jenis-jenis Penyelaman	9
2.2.3 Aspek-Aspek yang Mempengaruhi Penyelaman	11

2.2.4 Penyelaman tradisional.....	18
2.2.5 Fisika dalam Penyelaman.....	19
2.2.6 Gas-gas saat melakukan penyelaman.....	24
2.3 Penyakit Dekompresi.....	27
2.3.1 Definisi.....	27
2.3.2 Sejarah.....	28
2.3.3 Patologi.....	29
2.3.4 Teori Pembentukan Gelembung Gas.....	32
2.3.5 Prinsip Dasar Prosedur Dekompresi.....	33
2.3.6 Prosedur Penyelaman.....	34
2.3.7 Faktor yang Mempengaruhi Penyakit Dekompresi.....	35
2.3.8 Klasifikasi penyakit dekompresi.....	41
2.3.9 Efek Tubuh Terhadap Pembentukan Gelembung Gas.....	43
2.3.10 Pengendalian.....	45
2.4 Kerangka Teori.....	54
2.5 Kerangka Konsep.....	55
2.6 Hipotesis.....	56
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	57
3.1 Jenis Penelitian.....	57
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	57
3.2.1 Tempat Penelitian.....	57
3.2.2 Waktu Penelitian.....	57
3.3 Populasi, Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel.....	58
3.3.1 Populasi.....	58
3.3.2 Sampel.....	58
3.3.3 Teknik Pengambilan Sampel.....	60
3.4 Variabel dan Definisi Operasional.....	60
3.4.1 Variabel Penelitian.....	60
3.4.2 Definisi Operasional.....	61
3.5 Data dan Sumber Data Penelitian.....	63
3.5.1 Data Primer.....	63

3.5.2 Data Sekunder	64
3.6 Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data	64
3.6.1 Teknik Pengumpulan Data	64
3.6.2 Instrumen Pengumpulan Data	65
3.7 Teknik Pengolahan dan Analisis Data.....	67
3.7.1 Pengolahan Data	67
3.7.2 Analisis Data	67
3.8 Alur Penelitian.....	69
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	70
4.1 Hasil Penelitian.....	70
4.1.1 Distribusi Faktor Individu	70
4.1.2 Distribusi Faktor Pekerjaan.....	73
4.1.3 Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Kompresor Konvensional	74
4.1.4 Hubungan antara Faktor Individu dengan Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Kompresor Konvensional.....	75
4.1.5 Hubungan antara Faktor Pekerjaan dengan Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Kompresor Konvensional.....	78
4.2 Pembahasan	80
4.2.1 Distribusi Faktor Individu dan Faktor Pekerjaan.....	81
4.2.2 Distribusi Faktor Pekerjaan.....	84
4.2.3 Gambaran Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Kompresor Konvensional	89
4.2.4 Hubungan antara Faktor Individu dengan Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Kompresor Konvensional.....	89
4.2.5 Hubungan antara Faktor Pekerjaan dengan Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Kompresor Konvensional.....	94
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	99
5.1 Kesimpulan.....	99
5.2 Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN.....	105

DAFTAR TABEL

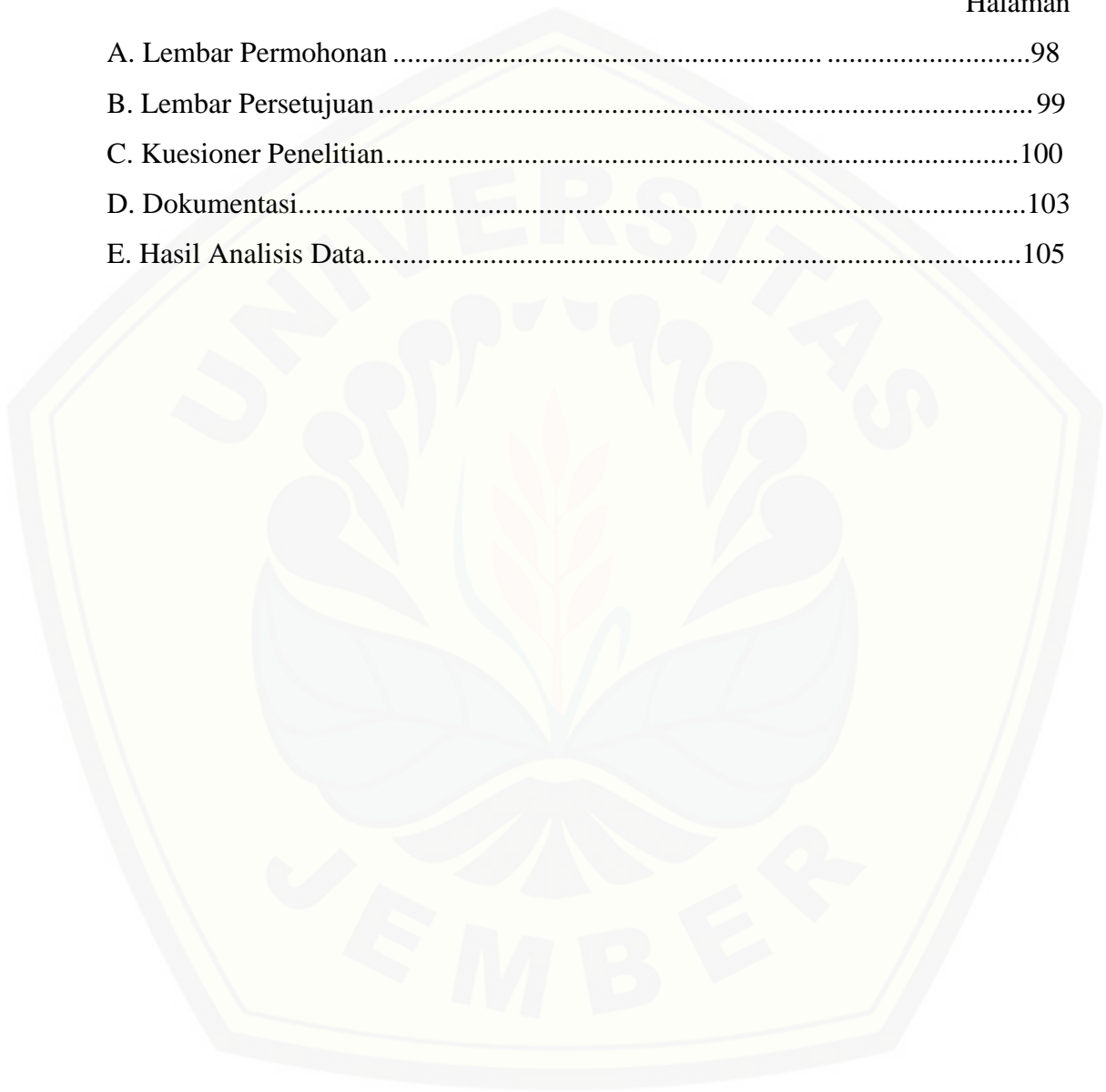
	Halaman
Tabel 2.1. Satuan Jumlah Tekanan Dalam ATA.....	12
Tabel 2.2. Gas-gas dalam Penyelaman	24
Tabel 3.1 Definisi Operasional, Cara Pengumpulan Data	53
Tabel 4.1 Distribusi Faktor Individu Berdasarkan Umur.....	62
Tabel 4.2 Distribusi Faktor Individu Berdasarkan Masa Kerja	63
Tabel 4.3 Distribusi Faktor Individu Berdasarkan Tingkat Pengetahuan	63
PenyelamanTabel 4.4 Distribusi Faktor Individu Berdasarkan Obesitas.....	63
Tabel 4.5 Distribusi Faktor Individu Berdasarkan Kebiasaan Olahraga.....	64
Tabel 4.6 Distribusi Faktor Individu Berdasarkan Kebiasaan Minum Alkohol... ..	64
Tabel 4.7 Distribusi Faktor Pekerjaan Berdasarkan Frekuensi Penyelaman	65
Tabel 4.8 Distribusi Faktor Pekerjaan Berdasarkan Lama Penyelaman	65
Tabel 4.9 Distribusi Faktor Pekerjaan Berdasarkan Kedalaman	66
Tabel 4.10 Distribusi Faktor Pekerjaan Berdasarkan Kecepatan Naik Permukaan.....	66
Tabel 4.11 a. Distribusi Gejala Penyakit Dekompresi	66
Tabel 4.11 b. Distribusi Gejala Penyakit Dekompresi	67
Tabel 4.12 Hubungan antara Umur dengan Gejala Penyakit Dekompresi	68
Tabel 4.13 Hubungan antara Masa Kerja dengan Gejala Penyakit Dekompresi.. ..	68
Tabel 4.14 Hubungan antara Pengetahuan Penyelaman dengan Gejala DCS	68
Tabel 4.15 Hubungan antara Obesitas dengan Gejala Penyakit Dekompresi.....	69
Tabel 4.16 Hubungan antara Olahraga dengan Gejala Penyakit Dekompresi.....	69
Tabel 4.17 Hubungan antara Kebiasaan Minum Alkohol dengan Gejala DCS....	69
Tabel 4.18 Hubungan antara Frekuensi Penyelaman dengan Gejala DCS	70
Tabel 4.19 Hubungan antara Lama Penyelaman dengan Gejala DCS.....	70
Tabel 4.20 Hubungan antara Kedalaman dengan Gejala Penyakit Dekompresi... ..	71
Tabel 4.21 Hubungan antara Kecepatan Naik Permukaan dengan Gejala DCS.. ..	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.2 a. Perbandingan Volume Paru.....	20
Gambar 2.2 b. Perbandingan Volume Paru.....	21
Gambar 2.2 c. Perbandingan Volume Paru.....	23
Gambar 2.3 Penyelaman dengan dekompresi U.S Navy chapter 9.....	34
Gambar 2.4 Kerangka Teori.....	46
Gambar 2.3 Kerangka Konsep.....	47
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	61

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Lembar Permohonan	98
B. Lembar Persetujuan	99
C. Kuesioner Penelitian.....	100
D. Dokumentasi.....	103
E. Hasil Analisis Data.....	105



DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI

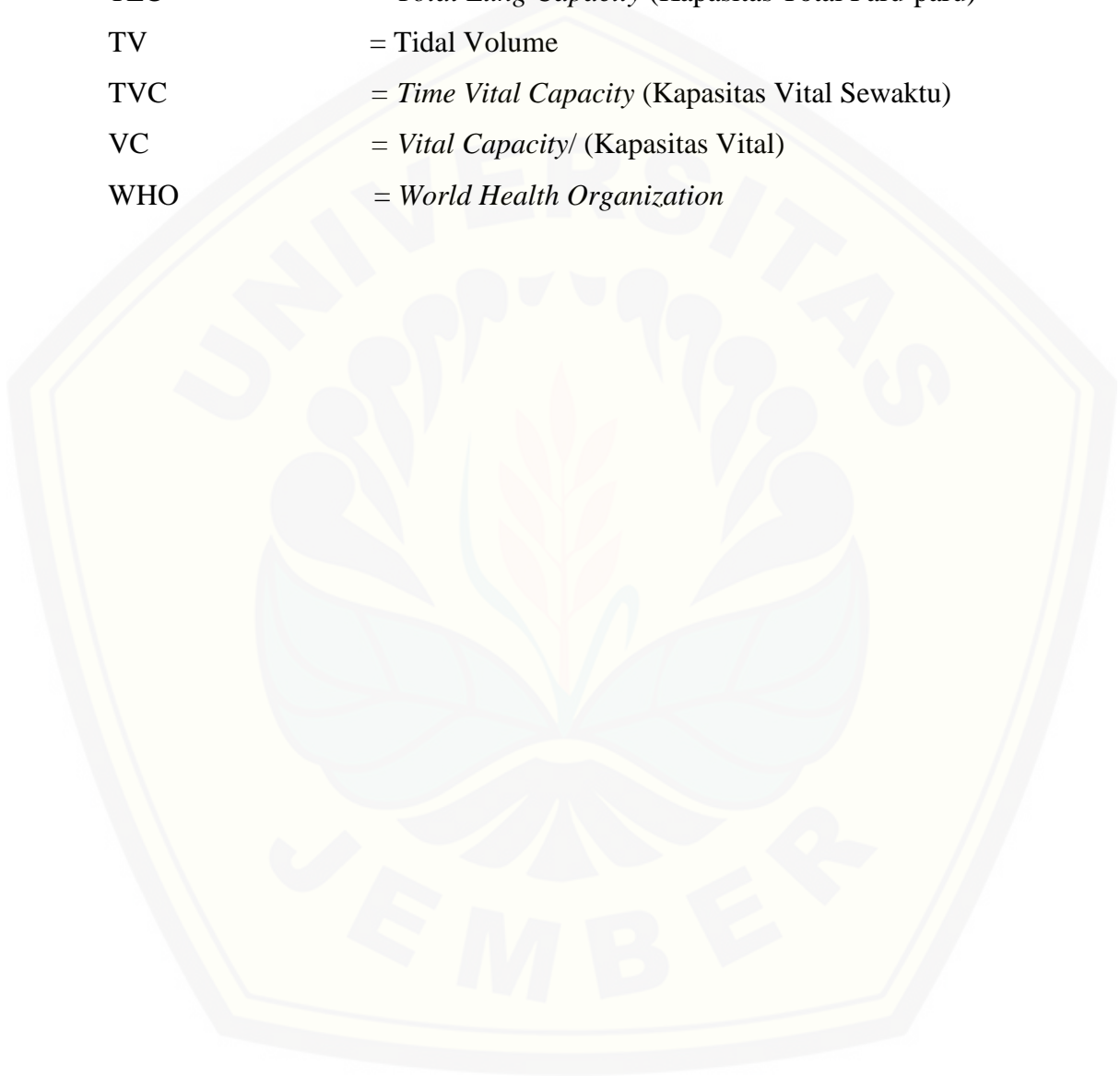
Daftar Arti Lambang

/	= Garis miring, per, atau
>	= Lebih dar
\geq	= Lebih dari sama dengan
<	= Kurang dari
:	= Titik dua
(= Kurung buka
)	= Kurung tutup
?	= Tanda tanya
“	= Tanda petik dua
°	= Derajat
%	= Persentase
d	= Kesalahan sampling yang masih dapat ditoleransi 5%
Ho	= Hipotesis nihil
m	= meter
Mm	= Milimeter
mmHg	= millimeter raksa
N	= Besar populasi
n	= Besar sampel minimum
nh	= Besar sampel yang diperlukan
ni	= besarnya sampel untuk sub populasi
Ni	= total masing-masing sub populasi
p	= Proporsi variabel yang dikehendaki
<i>p-value</i>	= Menunjukkan hasil analisis berdasarkan uji statistik
q	= (1 – p)
z	= Nilai distribusi normal baku (tabel Z)
α	= Alpha, taraf signifikan

Daftar Singkatan

APD	= Alat Pelindung Diri
ATA	= Atmosfir Absolute (Satuan Jumlah tekanan)
BA	= Buoyancy ascent
BB	= Buddy Breathing
BB	= Berat Badan
BBA	= buddy breathing ascent
BPS	= Badan Pusat Statistik
CO	= Carbonmonoksida
CO ₂	= Carbondioksida
ESA	= Emergency swimming ascent
IMT	= Indeks Massa Tubuh
K3	= Keselamatan dan Kesehatan Kerja
KAK	= Kecelakaan Akibat Kerja
Kg	= Kilogram
m	= Meter
N ₂	= Nitrogen
NTB	= Nusa Tenggara Barat
O ₂	= Oksigen
OAA	= Octopus Assisted Ascent
PAK	= Penyakit Akibat Kerja
PAN	= <i>Pesticide Action Network</i>
PKHI	= Perhimpunan Kesehatan Hiperbarik Indonesia
POSSI	= Persatuan Olahraga Selam Seluruh Indonesia
RMV	= <i>Respiratory Minute Volume</i> (Volume Pernapasan Permenit)
RUBT	= Ruang Udara Bertekanan Tinggi
RUBT	= Ruang Udara Bertekanan Tinggi
RV	= <i>Residual Volume</i> (Volume Sisa)
SCUBA	= <i>Self Contained Underwater Breathing Apparatus</i> /tabung scuba

SPSS	= <i>Statistical Package for The Science</i>
SSBA	= <i>Surface Supplied Breathing Apparatus</i> (Penyelaman dengan suplai udara dari permukaan)
TB	= Tinggi Badan
TLC	= <i>Total Lung Capacity</i> (Kapasitas Total Paru-paru)
TV	= Tidal Volume
TVC	= <i>Time Vital Capacity</i> (Kapasitas Vital Sewaktu)
VC	= <i>Vital Capacity</i> / (Kapasitas Vital)
WHO	= <i>World Health Organization</i>



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan pertumbuhan suatu bangsa tidak bisa terlepas dari peranan proses industrialisasi. Pembangunan industri sangat ditunjang oleh peranan tenaga kerja. Pembangunan tenaga kerja yang produktif, sehat dan berkualitas perlu ditunjang dengan manajemen yang baik, khususnya yang berkaitan dengan masalah kesehatan dan keselamatan kerja. Kecelakaan kerja diakibatkan oleh dua faktor yaitu faktor manusia (*unsafe actions*) dan faktor lingkungan (*unsafe conditions*). Faktor manusia yaitu berasal dari manusia itu sendiri yang membahayakan kesehatan dan keselamatannya seperti tidak menggunakan alat keselamatan dalam bekerja. Sedangkan faktor lingkungan adalah faktor-faktor yang berasal dari lingkungan dimana bekerja (Santoso, 2004 : 22).

Kesehatan dan keselamatan kerja menjadi yang utama bagi setiap orang ketika melakukan pekerjaan dimanapun tempat kerjanya. Kesehatan kerja merupakan upaya penyelarasan antara pekerja dengan pekerjaan dan lingkungan, baik fisik maupun psikis dalam hal cara ataupun metode, proses dan kondisi pekerjaan. Tujuan kesehatan kerja untuk memelihara dan meningkatkan derajat kesehatan masyarakat pekerja di semua lapangan kerja setinggi-tingginya baik fisik, mental maupun kesejahteraan sosialnya sehingga dapat mencegah timbulnya gangguan kesehatan pada masyarakat pekerja yang diakibatkan keadaan atau kondisi lingkungan kerjanya. Kesehatan kerja memberikan pekerjaan dan perlindungan bagi pekerja di dalam pekerjaannya dari kemungkinan bahaya yang disebabkan oleh faktor-faktor yang membahayakan kesehatan, menempatkan dan memelihara pekerja di suatu lingkungan pekerjaan yang sesuai dengan kemampuan fisik dan psikis pekerja (Effendi, 2009 : 233). UU No. 32/1992 tentang Jamsostek menyatakan bahwa setiap pekerja memiliki hak untuk mendapatkan perlindungan. Dalam Pasal 3 ayat 2 yang menyebutkan bahwa

bahwa setiap tenaga kerja berhak atas jaminan sosial tenaga kerja. Begitu pula dengan nelayan yang dapat dikategorikan dalam pekerja informal. Para nelayan juga memiliki potensi yang sama dengan risiko yang ditimbulkan dalam pekerjaannya. Nelayan berhak dilindungi dari risiko kerja seperti kematian, kecelakaan, sakit dan santunan dalam memasuki masa tua. Berbagai macam jenis pekerjaan disektor informal untuk itu perlu adanya penerapan budaya K3 yang baik disektor informal untuk menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja, tetapi pada faktanya sebagian besar sektor informal tidak memperhatikan masalah K3 hal ini karena kurangnya pemahaman tentang pentingnya penerapan K3 serta kurangnya pengawasan pemerintah terhadap masalah K3 sektor informal.

Berdasarkan Undang-undang No 1 tahun 1970, faktor pelaksanaan keselamatan dan kesehatan para pekerja merupakan modal pokok dalam melaksanakan modal tersebut. Faktor yang mempengaruhi terjaminnya keselamatan dan kesehatan kerja bawah air tidak hanya ditentukan oleh canggihnya peralatan dan ketersediaan sarana pelayanan kesehatan, tetapi juga tergantung pada kondisi fisik, kesehatan dan kemampuan dalam penguasaan teknologi selam para pekerja bawah air itu sendiri yang disertai dengan faktor-faktor yang mengandung resiko bahaya, yaitu terjadinya kecelakaan akibat kerja (KAK) maupun penyakit akibat kerja (PAK). Penyakit akibat kerja menurut peraturan menteri tenaga kerja dan transmigrasi No 1 tahun 1981 tentang kewajiban melapor PAK adalah setiap penyakit yang disebabkan oleh pekerjaan lingkungan kerja. Secara sederhana, dapat pula diartikan PAK merupakan suatu yang disebabkan atau diperburuk oleh pejanan di tempat kerja. Faktor-faktor yang mempengaruhi PAK ditempat kerja antara lain, biologi, fisik, ergonomi, dan psikologi.

Selanjutnya, menurut UU Nomor 45 Tahun 2009 tentang perikanan, nelayan adalah orang yang mata pencahariannya melakukan penangkapan ikan. Nelayan pada proses operasi penangkapan ikan memiliki beberapa proses kerja yaitu tahap persiapan, tahap operasi penangkapan, tahap *setting* (penurunan jaring), tahap hauling (penarikan jaring) dan tahap pengangkutan hasil tangkapan. Pada proses kerja tersebut banyak menggunakan tenaga manusia yang

mebutuhkan pengarahan tenaga yang besar dan biasanya menggunakan peralatan selam yang seadanya seperti kompresor konvensional. Kondisi ini dapat mengakibatkan berbagai keluhan seperti sakit kepala/pusing, pendengaran berkurang, Sakit dada/sesak, Nyeri sendi/otot dan perdarahan hidung.

Hasil penelitian Kementerian Kesehatan (2006) mengenai penyakit dan kecelakaan yang terjadi pada nelayan dan penyelam tradisional, menyebutkan bahwa sejumlah nelayan di Pulau Bungin, Nusa Tenggara Barat menderita nyeri persendian (57,5%) dan gangguan pendengaran ringan sampai ketulian (11,3%). Sedangkan, nelayan di Kepulauan Seribu, DKI Jakarta, mengalami kasus barotrauma (41,37%) dan kelainan dekompresi (6,91%). Selanjutnya, Menkes menyatakan bahwa kelompok nelayan di tanah air kita mendapatkan perhatian khusus dalam upaya pembangunan kesehatan 2010-2014. Data BPS tahun 2011 menunjukkan bahwa di Indonesia terdapat sekitar 8.090 desa pesisir yang tersebar di 300 kabupaten/kota pesisir. Dari 234,2 juta jiwa penduduk Indonesia, ada 67,87 juta jiwa yang bekerja di sektor informal, dan sekitar 30% diantaranya adalah nelayan. Data lainnya, 31 juta penduduk miskin di Indonesia, sekitar 7,87 juta jiwa (25,14%) di antaranya adalah nelayan dan masyarakat pesisir (Depkes, 2013).

Penelitian yang dilakukan oleh Simanungkalit (1997) terhadap para penyelam alam yang menggunakan kompresor konvensional di kelurahan P. Panggang menyatakan bahwa 51,8% nelayan penyelam alam mengalami gejala penyakit dekompresi. Salah satu faktor penyebabnya adalah karena pengetahuan terkait prosedur penyelaman tidak mereka ketahui, sedangkan 17,24% peselam kompresor konvensional dengan keluhan penyakit dekompresi mendapat pertolongan medis. Selanjutnya, frekuensi penyelaman, lama penyelaman dan pengetahuan SOP safety dive merupakan faktor risiko terjadinya penyakit dekompresi pada penyelam profesional dan penyelam tradisional di Gili Matra Kabupaten Lombok Utara Propinsi NTB (Sukmajaya, 2010).

Salah satu penyakit akibat kerja adalah penyakit dekompresi. Edmonds *et al.* (2015:150) menyatakan penyakit dekompresi adalah penyakit yang terjadi pada penyelam dan penambang saat kembali dari lingkungan bertekanan udara

tinggi ke tekanan udara normal disebabkan terbentuknya formasi gelembung gas pada darah dan cairan tubuh dengan berbagai tingkat keluhan dan gejala, yang dapat mengenai seluruh sistem organ tubuh dengan penyebab yang sama yaitu terbentuknya gelembung N_2 dalam jaringan dan darah.

Dari tahun 2008-2012 terlihat bahwa para penyelam tradisional yang belum pernah mendapatkan penyuluhan di atas 80%. Sebagian besar penyelam tradisional dalam melakukan kegiatan penyelaman menggunakan teknik tanpa alat (tahan nafas) dan sebagian lainnya menggunakan kompresor, sedangkan *scuba* digunakan para peselam profesional (pemandu wisata). Umumnya kompresor yang digunakan para penyelam adalah kompresor yang konvensional (kompresor tambal ban). Pada tahun 2012 lebih dari 95% masih menggunakan kedua teknik tahan nafas dan kompresor. Sebagian besar penyelam mengalami keluhan setelah melakukan kegiatan penyelaman, 52 keluhan pasca kegiatan penyelaman sangat tinggi bahkan pada tahun 2012 mencapai 92,2%. Hal ini kemungkinan disebabkan teknik penyelaman yang digunakan yakni tradisional (tanpa alat). Hampir semua penyelam mengalami lebih dari satu macam keluhan, keluhan terbanyak yang dialami adalah sakit kepala/pusing, pendengaran berkurang, sakit dada/sesak, nyeri sendi/otot dan perdarahan hidung (Kementrian Kesehatan, 2013).

Hasil observasi yang dilakukan peneliti, dari 9 responden, 7 diantaranya mengeluhkan gangguan kesehatan seperti pusing, sendi ngilu/nyeri otot, lengan dan atau tungkai lemah dan kesemutan. Di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi, terdapat 44 orang yang bekerja sebagai penyelam pencari ikan hias laut yang memakai kompresor tambal ban dalam penyelamannya. Kompresor konvensional tersebut berguna untuk mensuplai udara pernafasan bagi para penyelam melalui regulator yang dipasang pada mulut. Udara inspirasi dihirup lewat regulator sedangkan ekspirasi dikeluarkan lewat hidung. Obyek penyelaman mereka adalah ikan hias laut seperti ikan nemo, ikan keling, ikan bidadari, ikan biru kuning, dan lain lain. Para nelayan pencari ikan hias melakukan penyelaman dengan kedalaman kurang lebih 30 meter menyesuaikan dengan jenis tangkapan ikan yang ingin diperoleh (semakin dalam, semakin bagus jenis ikannya). Tidak ada penyelam

yang memiliki pakaian selam, mereka menyelam dengan memakai pakaian kaos panjang, celana panjang/celana pendek, sepatu karet, dan kaca mata selam. Rata-rata penyelam yang dilakukan penyelam merupakan penyelaman berulang (lebih dari satu kali) karena semakin lama dan seringnya melakukan penyelaman semakin banyak pula kesempatan mendapatkan ikan hias laut. Bahkan juga terdapat seorang nelayan yang mengalami kelumpuhan.

Beberapa kondisi yang dikeluhkan penyelam seperti pusing, sendi ngilu/nyeri otot, lengan dan atau tungkai lemah dan kesemutan. Keluhan tersebut termasuk dalam gejala-gejala penyakit dekompresi. Penyelam kompresor mendapatkan ilmu penyelaman secara turun temurun, tanpa melalui suatu pendidikan formal dan kegiatan tersebut menggunakan alat tradisional yang sederhana. Kemudian dengan adanya teknik penyelaman yang menggunakan peralatan kompresor dan dorongan sosial ekonomi, para penyelam mulai mempergunakan kompresor konvensional untuk dapat menyelam lebih lama dan lebih dalam dibandingkan dengan cara penyelaman yang lama. Karena tidak terbatasnya kapasitas udara yang dimampatkan oleh kompresor untuk memberikan udara pernafasan bagi peselam bawah air, maka para penyelam tersebut melakukan aktivitas kerja yang berlebihan untuk mendapatkan hasil yang berlipat ganda. Di balik keuntungan tersebut para penyelam sebenarnya mendapatkan beberapa risiko penyakit seperti penyakit dekompresi.

Berdasarkan uraian di atas dan fakta yang ada, maka perlu dilakukan penelitian mengenai faktor risiko gejala penyakit dekompresi pada nelayan ikan hias yang menggunakan kompresor konvensional. Penelitian ini dapat dijadikan sumbangsih pemikiran dalam menyelenggarakan sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja pada nelayan ikan hias yang menggunakan kompresor konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang diatas, rumusan masalah dari penelitian ini adalah : “Faktor risiko apa saja yang dapat menyebabkan gejala

penyakit dekompresi pada nelayan pencari ikan hias laut yang menggunakan kompresor tradisional di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi?”

1.3 Tujuan penelitian

1.3.1 Tujuan umum

Tujuan umum dari penelitian ini adalah menganalisis faktor risiko gejala penyakit dekompresi pada nelayan yang menggunakan kompresor konvensional di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi.

1.3.2 Tujuan khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui faktor individu (umur, masa kerja, pengetahuan penyelaman, obesitas, kebiasaan olahraga dan alkoholisme).
- b. Mengetahui faktor pekerjaan (frekuensi penyelaman, lama penyelaman, kedalaman dan kecepatan naik ke permukaan).
- c. Mengetahui gejala penyakit dekompresi pada nelayan
- d. Menganalisis hubungan faktor individu dengan terjadinya gejala penyakit dekompresi nelayan yang menggunakan kompresor konvensional.
- e. Menganalisis hubungan faktor pekerjaan dengan terjadinya gejala penyakit dekompresi nelayan yang menggunakan kompresor konvensional.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat teoritis

Secara teoritis diharapkan penelitian ini dapat menambah wawasan dan kepastakaan ilmu kesehatan masyarakat khususnya terkait dengan faktor-faktor risiko timbulnya gejala penyakit dekompresi pada nelayan pencari ikan hias laut di Kabupaten Banyuwangi.

1.4.2 Manfaat Praktis

a. Manfaat Bagi Peneliti

Hasil penelitian ini akan menjadi suatu pengalaman dalam membangun wawasan dan pengetahuan di bidang keselamatan dan kesehatan kerja. Selain itu, peneliti dapat memperoleh gambaran nyata tentang faktor-faktor risiko timbulnya gejala penyakit dekompresi pada nelayan pencari ikan hias laut di Kabupaten Banyuwangi.

b. Manfaat Bagi Fakultas Kesehatan Masyarakat

Diharapkan hasil penelitian ini dapat menambah literatur di perpustakaan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember, sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam upaya untuk meningkatkan pembelajaran di bidang Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dan sebagai referensi untuk pihak yang akan melakukan penelitian lebih lanjut mengenai penyakit akibat kerja pada peselam konvensional.

c. Manfaat Bagi Tempat Penelitian

Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi sumber masukan terhadap para nelayan yang menggunakan kompresor konvensional khususnya pada nelayan pencari ikan hias laut di Kabupaten Banyuwangi dalam upaya untuk melindungi pekerja dan demi mencapai kesehatan dan keselamatan kerja setinggi-tingginya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyakit Akibat Kerja

Penyakit akibat kerja adalah setiap penyakit yang disebabkan oleh faktor pekerjaan atau lingkungan kerja dan beban kerja. Dikenal dua kategori penyakit di perusahaan yang dapat diderita pekerja yaitu penyakit umum dan PAK. Penyakit umum adalah semua penyakit yang mungkin dapat diderita oleh setiap orang, baik yang bekerja, masih sekolah atau menganggur. PAK dapat timbul setelah seorang pekerja yang tadinya tidak menderita penyakit tertentu, melakukan pekerjaannya kemudian jatuh sakit atau oleh pekerjaannya penyakit tertentu tercetus, dipermudah atau diperberat. Baik penyebab atau pencetus dapat dicegah sedini mungkin (Setyawati, 2011:20).

Untuk menegakkan diagnosis PAK, harus dibedakan dengan penyakit yang berkaitan dengan pekerjaan. Adapun perbedaan spesifiknya adalah pada PAK banyak terjadi pada para pekerja, ada kaitan dengan pekerjaannya, penyebabnya spesifik, contohnya asbestosis. Sedangkan penyakit yang berkaitan dengan pekerjaan di tempat kerja hanya menjadi salah satu faktor pemicu, contohnya BC. Secara garis besar untuk mendiagnosis diperlukan pengetahuan tentang pekerjaan yang sangat relevan dengan penyakitnya, memprediksi pengaruh jangka panjang atau kekambuhan penyakit, mengetahui status, tingkat pendidikan, sosioekonomi (Budiono, 2003:15).

2.2 Penyelaman

2.2.1 Definisi penyelaman

Menyelam merupakan suatu kegiatan yang dilakukan manusia dibawah permukaan air atau di dalam air pada kedalaman tertentu dengan atau tanpa menggunakan peralatan untuk mencapai tujuan tertentu. Sedangkan menurut Ekawati (2005) menyelam adalah kegiatan yang dilakukan manusia di lingkungan bertekanan tinggi yang lebih dari satu atmosfer yang dikenal sebagai lingkungan hiperbarik.

Penyelaman pada umumnya merupakan aktivitas manusia di lingkungan lebih dari satu atmosfer absolut yang dapat berbentuk udara/gas yang bertekanan di dalam air (PHKI, 2000). Ekawati (2005) menyatakan bahwa penyelam tradisional adalah penyelam yang melakukan pekerjaan secara turun-menurun atau mengikuti yang lain, serta tanpa dibekali ilmu kesehatan dan keselamatan penyelaman yang memadai dengan menahan nafas dan menyelam dengan menggunakan suplai udara dari permukaan laut yang dialirkan melalui kompresor udara.

Persatuan Olahraga Selam Seluruh Indonesia (POSSI), 2000 menggolongkan penyelaman berdasarkan kedalaman menjadi tiga macam:

- a. Penyelaman dangkal yaitu penyelaman dengan kedalaman maksimum 10 meter
- b. Penyelaman sedang yaitu penyelaman dengan kedalaman antara 10-30 meter
- c. Penyelaman dalam yaitu penyelaman dengan kedalaman lebih dari 30 meter

2.2.2 Jenis-jenis Penyelaman

Narachmadi (1994) dalam Sabrina (2007) menyatakan bahwa kegiatan penyelaman pada mulanya dilakukan dengan menahan napas tanpa bantuan alat sehingga kedalaman dan lama menyelam sangat terbatas dan tergantung pada kemampuan menahan napas. Seiring dengan kemajuan teknologi, pada kemampuan menahan napas. Seiring dengan kemajuan teknologi, manusia berusaha menciptakan alat selam berupa alat bantu pernapasan, pakaian selam, serta alat lain yang mendukung penyelaman.

Massi (2005) menggolongkan jenis penyelaman berdasarkan tujuan dan alat-alat yang digunakan sebagai berikut:

- a. Berdasarkan tujuan penyelaman
 - 1) Penyelaman untuk kepentingan pertahanan dan keamanan negara antara lain: *tactical (combat) diving*, *submarine rescue (dislambair)*, *search and rescue*, *inspection repair*, *ship salvage*.

- 2) Penyelaman komersil yaitu penyelaman profesional untuk kepentingan kepentingan konstruksi dibawah permukaan air, pengeboran lepas pantai (*off shore drilling*), *selvage*, dan lain-lain.
 - 3) Penyelaman ilmiah (*scientific diving*) yaitu penyelaman yang dilakukan untuk kepentingan ilmiah, antara lain penelitian-penelitian biologi, geologi, arkeologi, dan kelautan pada umumnya.
 - 4) Penyelaman olahraga (*sport diving*) yaitu penyelaman yang dilakukan untuk mempertahankan atau meningkatkan kondisi kesehatan dan kebugaran jiwa raga. Berdasarkan peralatan yang digunakan penyelaman olahraga dapat dibedakan menjadi dua : *skin diving* yaitu penyelaman yang dilakukan hanya menggunakan peralatan dasar selam dan *scuba diving* yaitu penyelaman dengan menggunakan peralatan scuba.
- b. Berdasarkan alat yang digunakan
- Dilihat dari alat-alat yang digunakan, penyelaman dapat dibedakan sebagai berikut:
- 1) Penyelaman tahan napas atau *breath hold diving* adalah penyelaman tanpa alat bantu pernapasan, penyelam hanya mengandalkan kemampuannya dalam menahan napas.
 - 2) Penyelaman dengan *scuba* atau *scuba diving* yaitu penyelaman dengan menggunakan *Self Contained Underwater Breathing Apparatus*. Penyelaman ini dilakukan pada kedalaman 18-40 meter atau kurang dari itu tergantung pada kebutuhan sesuai dengan kecepatan arus (maksimal 1 knots). Dalam keadaan normal dilakukan pada kedalaman 18 meter selama 60 menit atau 40 meter selama 10 menit.
 - 3) Penyelaman dengan suplai udara dari permukaan atau *surface supplied diving* sering disebut sebagai SSBA (*Surface Supplied Breathing Apparatus*). Penyelaman ini menggunakan bantuan kompresor atau tabung udara untuk suplai udara pada penyelam. Udara dari tabung atau kompresor dialirkan langsung ke masker atau helm penyelam melalui pipa udara pada tekanan udara yang disesuaikan dengan tekanan absolut di kedalaman tersebut. Untuk penyelaman ini dilakukan pada kedalaman 40-60 meter

selama 40 menit dengan kecepatan 5 knots. SSBA masih dibagi lagi tergantung alat yang digunakan yaitu: *surface supplied light weight diving* dan *supplied deep sea diving*.

- 4) Penyelaman dengan menggunakan kapal selam atau *submarine diving*. tekanan dalam kabin dapat diatur tetap 1 atm.
- 5) Penyelaman kering dalam ruang udara bertekanan tinggi (RUBT) yaitu penyelaman yang dilakukan di dalam RUBT yang diisi dengan udara kering bertekanan tinggi sampai tekanan/kedalaman yang dikehendaki. Penyelaman ini bertujuan antara lain untuk dekompresi di permukaan, penelitian-penelitian penyelaman dan pengobatan dekompresi ataupun penyakit yang memerlukan oksigen bertekanan tinggi.

2.2.3 Aspek-Aspek yang Mempengaruhi Penyelaman

Kegiatan penyelaman tidak lepas dari hukum-hukum ilmu fisika yang berdampak langsung pada pengaruh fisiologi penyelam. Dean et al, 2016, dalam bukunya menjelaskan bahwa aspek fisika yang mempengaruhi penyelaman yaitu tekanan, daya apung, suhu/temperatur, penglihatan, cahaya, dan suara dibawah air.

a. Tekanan

Ilmu kesehatan dan kedokteran hiperbarik yang mempelajari tentang pengaruh penyelaman dan tekanan yang tinggi terhadap tubuh, telah menemukan fakta bahwa tekanan udara di dalam air lebih besar dari tekanan udara di daratan. Tekanan udara di permukaan laut pada suhu 0 °C pada dasarnya adalah tekanan yang disebabkan oleh berat atmosfer di atasnya. Tekanan ini konstan yaitu sekitar 760 mm Hg (14.7 Psi) dan dijadikan dasar ukuran satu atmosfer.

Persamaan tekanan :

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Atmosfir} &= 10.07 (10) \text{ *meter air laut} \\
 &= 33.05 (33) \text{ *kaki air laut} \\
 &= 33.93 (34) \text{ *kaki air tawar} \\
 &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 101 \text{ kilopascals}
 \end{aligned}$$

= 760 mm air raksa (mm Hg)

= 760 torr

Tekanan akan menurun pada ketinggian karena atmosfer di atasnya berkurang sehingga berat udara pun berkurang. Demikian sebaliknya tekanan akan meningkat bila seseorang menyelam di bawah permukaan air. Hal ini disebabkan karena berat dari atmosfer dan berat dari air di atas penyelam. Ukuran tekanan dari berbagai kedalaman mengungkapkan bahwa tekanan 760 mm Hg (sama dengan standard atmosferik pressure) akan terasa pengaruhnya kira-kira pada kedalaman 10 m dari air laut (33 kaki).

Berdasarkan hukum Pascal yang menyatakan bahwa tekanan yang terdapat di permukaan cair akan menyebar ke seluruh arah secara merata dan tidak berkurang pada setiap tempat dibawah permukaan laut, tekanan yang terdapat pada suatu titik menunjukkan tekanan 1 atmosfer (tekanan di permukaan + tekanan yang disebabkan oleh kedalaman air laut). Satuan-satuan dari jumlah tekanan disebut Atmosfir Absolute (ATA). Berikut satuan jumlah tekanan dalam ATA.

Tabel 2.1. Satuan Jumlah Tekanan Dalam ATA

Kedalaman (depth)	Tekanan Absolut	Gauge Pressure
Di Permukaan	1 ATA	0 ATG
10 meter	2 ATA	1 ATG
20 meter	3 ATA	2 ATG
30 meter	4 ATA	3 ATG

Sumber : Dean et. al. ADS, 2016

Ukuran tekanan (*Gauge Pressure*) menunjukkan tekanan yang terlihat pada alat pengukuran dimana terbaca 0 pada tingkat permukaan karena tekanan ini selalu 1 atmosfer lebih rendah daripada tekanan. Hukum Boyle juga menegaskan hubungan antara tekanan dan volume dari kumpulan gas akan berbanding terbalik dengan tekanan absolute. Ini berarti bahwa bilamana tekanan meningkat volume dari suatu kumpulan gas akan berkurang atau sebaliknya. Selama tekanan sebanding dengan kedalaman, maka volume akan menjadi setengah dari volume

semula. Hubungan ini berlaku terhadap semua gas-gas di dalam tubuh sewaktu penyelam masuk kedalam air maupun ketika naik keatas permukaan. Hukum ini juga mengatakan bahwa seorang penyelam yang menghirup napas penuh dipermukaan akan merasakan paru-parunya semakin lama akan semakin tertekan oleh air di sekelilingnya sewaktu peselam turun.

Hukum fisika lain yang membahas tentang tekanan yaitu hukum Dalton yang menyatakan bahwa jumlah tekanan dari suatu gas-gas adalah jumlah tekanan partial dari tiap gas yang membentuk campuran gas tersebut jika gas itu secara tersendiri menempati seluruh ruang (volume). Selama tekanan secara menyeluruh meningkat, tekanan dari tiap-tiap gas juga akan meningkat. Hukum ini penting untuk untuk mengetahui efek- efek toksik gas pernapasan pada kedalaman, penyakit dekompresi dan penggunaan oksigen maupun campuran-campuran gas untuk tujuan pengobatan. Sebagai contoh, seorang penyelam yang menghirup suatu campuran 60% O₂ dan 40% N₂ risikonya akan menderita keracunan O₂.

Pengaruh tekanan yang berdampak pada fisiologi penyelam juga dapat diketahui dari teori yang dikenal dengan hukum Henry. Hukum ini berhubungan dengan penyerapan gas di dalam cairan. Di permukaan laut(1 ATA) dalam tubuh manusia terdapat kira-kira 1 liter nitrogen. Dinyatakan bahwa jumlah gas yang terlarut berbanding lurus dengan tekanan partial dari gas tersebut. Bila seorang penyelam turun sampai kadalaman 10 m (2 ATA), maka tekanan partial dari nitrogen menjadi dua kali lipat dibandingkan dengan dipermukaan dan akhirnya nitrogen yang terlarut dalam jaringan juga akan menjadi dua kali lipat. Ketika tekanan yang terdapat di dalam larutan terlalu cepat berkurang dan gas yang keluar dari larutan berbentuk gelembung-gelembung gas maka akan menyebabkan dekompresi, keracunan gas serta pembiusan gas (*insert gasnarcosis*). Hal ini dikarenakan gelembung-gelembung yang keluar dapat menyumbat pembuluh darah atau merusak jaringan-jaringan.

Teori yang terakhir yang juga mejelaskan tentang pengaruh tekanan terhadap menyelam yaitu teori hukum Charles. Hukum ini menyangkut hubungan antara suhu, volume, dan tekanan yang menyatakan bahwa bila tekanan tetap konstan, volume dari sejumlah gas tertentu adalah berbanding lurus dengan gas

absolut. Hukum ini banyak di aplikasikan pada penggunaan alat-alat penyelaman seperti silinder, regulator chamber dan lain-lain.

b. Daya Apung

Hukum Archimedes menyatakan bahwa setiap benda yang dibanamkan seluruhnya atau sebagian kedalam cairan mendapat tenaga dorong sebesar bobot cairan yang digantikan. Semakin padat cairan itu, semakin besar pula daya apungnya. Dengan demikian penyelam dan kapal-kapal mengapung lebih tinggi di air laut daripada di air tawar.

Tingkat daya apung setiap penyelam dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: berat alat-alat yang dipakai, penggunaan silinder berisi udara tekan, penggunaan pakaian selam (*wet suit*) yang terdiri dari sel-sel karet busa berisi udara dan penggunaan rompi. Bila penyelam menghirup napas, volume di dada akan meningkat yang cenderung membuatnya mengapung, sedangkan bila ia menghembuskan akan cenderung tenggelam. Oleh karena itu, seorang penyelam sering menghembuskannapasnya pada saat meninggalkan permukaan untuk memanfaatkan pengaruh tersebut untuk membantunya turun.

c. Suhu/Temperatur

Suhu air di sekeliling menentukan kenyamanan penyelam secara Suhu air di sekeliling menentukan kenyamanan penyelam secara maksimal. Hampir semua suhu perairan lebih dingin dari suhu badan yang normal yaitu 37°C atau 98°F . Oleh karena itu, seorang penyelam akan kehilangan panas terhadap air karena konduksi.

Suhu air semakin berkurang secara nyata bersamaan dengan bertambahnya kedalaman dan perubahan suhu terbesar yaitu pada kedalaman 10 m pertama. Hal ini disebabkan karena hilangnya sebagian besar panas matahari pada kedalaman yang lebih yang menyebabkan suhu disekitar menjadi dingin. Air yang dingin dapat menyebabkan gangguan-gangguan fisiologis yang gawat seperti pusing/vertigo, dan sakit kepala.

d. Penglihatan dan Cahaya

Penglihatan di bawah tidak akan sama setiap titiknya. Hal ini dikarenakan perbedaan-perbedaan dalam pembiasan sinar dibawah air. Oleh karena itu, makin

bertambah kedalaman menyelam maka risiko terjadinya masalah penglihatan bagi penyelam akan semakin besar pula. Selain itu, dibawah air warna-warna juga tidak akan tampak seperti pada permukaan. Hal ini disebabkan karena penyerapan terhadap panjang gelombang tiap warna yang tidak sama besarnya. Sinar matahari yang merupakan kombinasi warna merah, orange, biru, indigo dan ungu akan terlihat sebagai warna biru tua.

e. Suara

Suara di bawah air sangat dipengaruhi oleh penghantarnya, yaitu melalui media cairan. Suara di udara akan cepat kehilangan energinya bila dipancarkan ke dalam air. Oleh karena itu, Pendengaran seseorang di bawah air akan berkurang akibat pengaruh air terhadap gendang telinga. Telinga manusia diciptakan untuk melokalisir arah suara di udara, namun mekanisme ini akan terganggu karena di bawah permukaan air, suara merambat 4 kali lebih cepat daripada di udara.

f. Fisiologi Penyelam

Marine Science Diving Club (2000), dalam bukunya menjelaskan bahwa aktifitas penyelaman yang berada di lingkungan hiperbarik (lebih dari 1 atmosfer) dapat menyebabkan perubahan fatal dalam tubuh manusia. Oleh karena itu, pemahaman tentang cara kerja tubuh yang normal dapat membantu untuk memahami pengaruh-pengaruh menyelam terhadap manusia. Adapun cara kerja tubuh yang harus diketahui yaitu:

1) Pernapasan

Proses bernapas dibutuhkan untuk menyuplai oksigen (O_2) ke semua jaringan tubuh dan untuk mengeluarkan karbondioksida (CO_2) yang dihasilkan jaringan darah melalui paru-paru. Udara masuk ke paru-paru melalui sistem pipa yang menyempit (Bronchi dan Bronchioles) yang bercabang di kedua belah paru-paru dari saluranudara utama (Trachea). Pipa ini berakhir di gelembung-gelembung paru-paru (Alveoli) yang merupakan kantong udara terakhir dimana oksigen dan karbondioksida dipindahkan dari tempat dimana darah mengalir.

Terdapat lebih dari 300 juta kantong serupa di dalam paru-paru manusia. ruang udara ini dipelihara dalam keadaan terbuka oleh bahan kimia semacam deterjen yang dapat menetralkan kecendrungan alveoli untuk mengempis.

Permukaan bagian luar paru-paru ditutup oleh selaput (Pleura) yang licin dan selaput serupa yang membatasi permukaan bagian dari dinding dada. Kedua selaput ini terletak sangat berdekatan dan hanya dipisahkan oleh lapisan cairan yang tipis. Ruang pemisah antara selaput tersebut disebut ruang antar rongga selaput dada (Intra Pleure Space). Sewaktu menarik napas (Inspirasi), dinding dada secara aktif tertarik keluar oleh pengerutan dinding dada, dan sekat rongga dada (Diafragma) tertarik ke bawah sedangkan ketika menghembuskan napas (Ekspirasi) terjadi pengerutan di paru-paru dan dinding dada yang ikut mengembang.

Penyelam membutuhkan gas untuk pernapasan di bawah air melalui sistem katup dan pipa yang sempit, namun terdapat hambatan terhadap proses pernapasan. Sewaktu menyelam masuk kedalam air, tekanan meningkat disebabkan meningkatnya kepadatan gas seiring dengan kedalamannya. Pengaruh utamanya adalah berkurangnya ventilasi paru-paru, akibatnya lebih banyak tenaga yang digunakan untuk bernapas yang mempercepat terjadinya kelelahan dibandingkan dengan pekerjaan yang dilakukan di daratan. Pengukuran fungsi pernapasan ada banyak hal dan bermacam-macam, tetapi yang berhubungan dengan penyelam antara lain:

- a) Kapasitas Total Paru-paru (*Total Lung Capacity/ TLC*) merupakan jumlah volume gas yang dapat ditampung oleh kedua paru-paru bila terisi penuh, biasanya kurang lebih 5 liter
- b) Kapasitas Vital (*Vital Capacity/VC*) merupakan volume gas maksimal yang dapat dihembuskan keluar setelah dihirup secara maksimal (biasanya 4-5 liter)
- c) Volume Sisa (*Residual Volume/RV*) merupakan jumlah gas yang tertinggal dalam paru-paru setelah dihembuskan secara maksimal: $TLC - VC$ (kurang lebih 25% dari TLC)
- d) Tidal Volume/*TV* merupakan volume gas yang bergerak masuk dan keluar dari paru-paru selagi suatu putaran pernapasan secara normal (biasanya kurang dari 0.5 liter)

- e) Volume Pernapasan Permenit (*Respiratory Minute Volume/RMV*) merupakan jumlah gas yang bergerak masuk dan keluar dari paru-paru dalam 1 menit. Yaitu $TV \times \text{frekuensi pernapasan} = RMV$.
- f) Kapasitas Vital Sewaktu (*Time Vital Capacity/TVC*) merupakan bagian VC yang dapat dihembuskan dalam waktu tertentu (biasanya 1 detik).

Parameter pengukuran pernapas ini penting untuk dipahami penyelam agar dapat mencegah kejadian-kejadian seperti:

- a) Risiko barotrauma paru-paru
- b) Kecepatan dimana penyediaan udara tekan akan terpakai habis
- c) Kedalaman maksimal untuk menggunakan pipa udara (snorkel) yang aman
- d) Terjadinya kelelahan karena alat pernapasan dan penyelaman yang kurang lengkap dan kurang berdaya guna
- e) Terjadinya kekurangan oksigen (hipksia)

2) Peredaran Darah

Tekanan darah saat istirahat yang normal adalah 120-140 mmHg selagi jantung mengerut (sistolik), dan 70-80 mm Hg sewaktu diantara denyutan jantung (diastolik). Bila tekanan darah turun, maka peredarandarah ke jaringan tidak akan cukup, hingga menyebabkan kekurangan O_2 , tekanan darah tergantung kecepatan dan kekuatan pengerutan jantung dan juga pada daya tahan arteri terhadap aliran darah.

Sering terjadi pendarahan pada penyelam akibat perbedaan tekanan yang diterima oleh tubuh. Pendarahan yang terlalu banyak akan mengurangi volume darah sehingga dapat menurunkan tekanan darah. Penurunan sirkulasi darah yang hebat disebut shock. Bila shock terjadi dan tidak segera diatasi maka dapat mengakibatkan kematian Shock dapat diatasi dengan memberikan cairan-cairan melalui pembuluh darah (intravena) untuk meningkatkan volume darah dan menaikkan tekanan darah.

3) Rongga Udara dalam Tubuh

Rongga udara dalam tubuh adalah rongga-rongga didalam tubuh manusia yang terdapat di berbagai organ tubuh. Pada umumnya dikelilingi oleh tulang. Macam-macam rongga udara pada tubuh yang berkaitan dengan aktifitas

penyelaman, antarlain:

- a) Sinus : sinus frontalis yang berada di tulang dahi dan sinus maksilaris yang berada di tulang pipi
- b) Paru dalam rongga dada
- c) Gigi : rongga pada gigi dapat muncul ketika melakukan penambahan pada lubang gigi
- d) Kulit : rongga dibawah pakaian selam
- e) Muka : rongga yang terdapat antara wajah dengan lapisan kaca masker
- f) Telinga : rongga luar, tengah dan dalam

2.2.4 Penyelaman tradisional

Penyelaman tradisional adalah penyelaman yang dilakukan dengan menggunakan peralatan selam yang sangat terbatas bila dibandingkan dengan penyelaman profesional, daya tahan dan kebiasaan mereka menjadi modal ketika melakukan penyelaman mereka yang biasa mencari biota laut tertentu, dapat bertahan menyelam antara 1-2jam didalam laut. Tidak ada penyelam yang menggunakan pakaian selam, peralatan yang umum digunakan oleh seorang penyelam tradisional hanya terdiri dari kaos tangan panjang, celana pendek, sepatukaret, kompresor yang biasa digunakan sebagai alat untuk memompa ban kendaraan bermotor, fins, masker, selang dengan regulator, dan pemberat dari timah. Sedangkan keterampilan penyelaman diperoleh secara alami yaitu dengan meniru cara menyelam peselam yang lebih tua atau lebih senior (Dharmawan, 2012).

Kompresor yang digunakan sebagai penyuplai udara ke penyelam adalah kompresor ban yang tidak dirancang secara khusus untuk digunakan menyelam. Pada kompresor tersebut terdapat knalpot mesin penggerak kompresor jaraknya sangat dekat dengan tempat masuk udara kedalam kompresor sehingga hal ini dapat menyebabkan masuknya sisa pembakaran mesin yang berupa gas karbon monoksida (CO) yang dapat mengakibatkan penyelam mengalami keracunan. Kompresor sebagai alat bantu dalam air, dipasang selang sepanjang 50-75m yang salah satu ujungnya disambungkan keseluruh udara (output pipe) kompresor ban

tersebut. Diujung satunya dipasang regulator yang akan membantu penyelam untuk menghirup udara yang beraal dari selang tersebut melalui mulutnya. Di satu kompresor bias terpasang sampai 4 buah Selang. Selang-selang tersebut selanjutnya diikatkan ke tubuh penyelam, biasanya di bagian pinggang. Tujuannya adalah agar ketika menyelam tidak terbawa arus yang bisa dilepaskan regulator dari mulut penyelam. Akibat ikatan yang erat ke tubuh penyelam, aliran udara akan terhambat sehingga udara yang dihirup oleh penyelam sebagian besar dari gelembung-gelembung air yang keluar dari selang yang terhambat tadi. Jika terjadi suatu hal seperti mesin kompresor mati mendadak atau kehabisan bahan bakar, seorang penjaga (operator) diatas perahu tidak mempunyai pilihan selain harus menarik segera selang penyelaman ke permukaan (Paskarini,2012)

2.2.5 Fisika dalam Penyelaman

Pengetahuan terapan hukum-hukum fisika yang berhubungan dengan penyelaman adalah persyaratan terpenting bagi teknik penyelaman yang aman. Banyak masalah kesehatan penyelaman yang secara langsung diakibatkan oleh pengaruh-pengaruh fisiologis dari hukum-hukum tersebut terhadap manusia (Dean et. al. 2016:17). Berikut hukum-hukum yang berlaku dalam penyelaman:

a. Hukum Boyle (Hukum Perubahan Tekanan dan Volume)

Hukum ini menegaskan hubungan antara tekanan dan volume dari suatu kumpulan gas akan berbanding terbalik dengan tekanan absolut, yaitu : $V = 1/P$

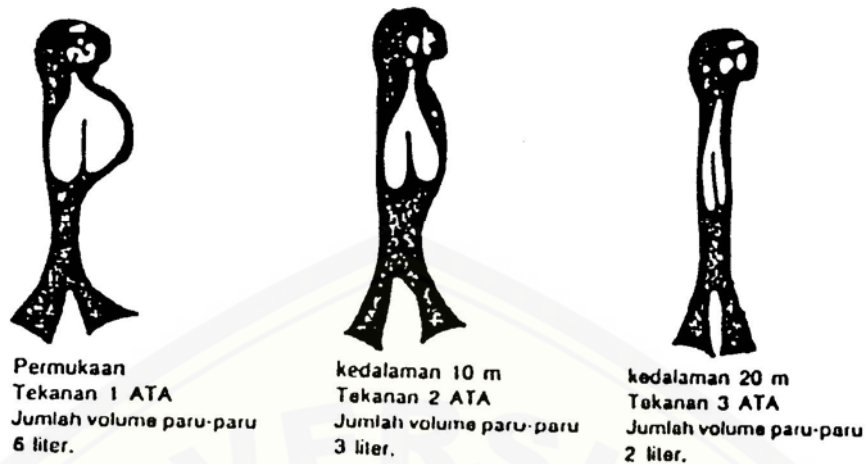
Jadi: $PV = K$ atau $P_1V_1 = P_2V_2$

P =Tekanan

V = Volume

K =Konstan

Ini berarti bahwa apabila tekanan meningkat, volume dari suatu kumpulan gas akan berkurang atau sebaliknya. Selama tekanan sebanding dengan kedalaman, maka volume akan menjadi setengah volume dari semula. Hubungan ini berlaku terhadap semua gas-gas di dalam ruangan-ruangan tubuh sewaktu penyelam masuk ke dalam air maupun sewaktu naik ke permukaan.



Gambar 2.2 a. Perbandingan Volume

Hukum Boyle pada penyelaman tahan napas. Seorang penyelam yang menghirup napas penuh di permukaan akan merasakan paru-parunya semakin lama semakin tertekan oleh air di sekelilingnya sewaktu penyelam turun.

b. Hukum Dalton (Tekanan Partial dari Campuran Gas).

Hukum ini berhubungan udara (suatu campuran Nitrogen dan Oksigen) dan dengan pernafasan gas campuran. Dinyatakan bahwa jumlah tekanan dari suatu campuran gas-gas adalah jumlah dari tekanan secara tersendiri menempati seluruh ruang (volume), selama tekanan secara menyeluruh meningkat, tekanan partial dari tiap-tiap gas akan meningkat.

Karena udara adalah suatu campuran yang terdiri dari kurang lebih 80% bagian N_2 dan 20% bagian O_2 , maka udara di permukaan terdiri dari :

$$N_2 = 80\% \text{ dari } 1 \text{ ATA (760 mm Hg).}$$

$$= 0,8 \text{ ATA (608 mm Hg).}$$

$$O_2 = 20\% \text{ dari } 1 \text{ ATA (760 mm Hg)}$$

$$= 0,2 \text{ ATA (152 mm Hg)}$$

Tekanan partial dari suatu gas di dalam campuran diperoleh dengan mengkalikan persentasi gas dengan tekanan total. Dengan kedalaman tertentu, peningkatan tekanan partial yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$\text{Permukaan} = 1 \text{ ATA} = 0,8 \text{ ATA N}_2 + 0,2 \text{ ATA O}_2$$

$$(\text{PP O}_2 = 20\% \times 1 \text{ ATA})$$

$$10 \text{ meter} = 2 \text{ ATA} = 1,6 \text{ ATA N}_2 + 0,4 \text{ ATA O}_2$$

$$(\text{PP O}_2 = 20\% \times 2 \text{ ATA})$$

$$30 \text{ meter} = 4 \text{ ATA} = 3,2 \text{ ATA N}_2 + 0,8 \text{ ATA O}_2$$

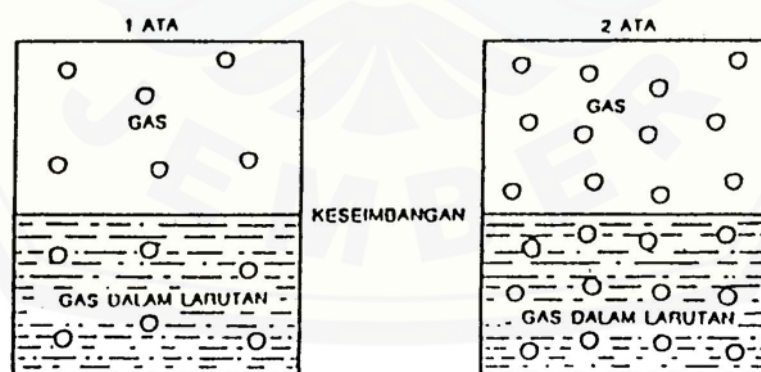
$$(\text{PP O}_2 = 20\% \times 4 \text{ ATA})$$

$$40 \text{ meter} = 5 \text{ ATA} = 4,0 \text{ ATA N}_2 + 1,0 \text{ ATA O}_2$$

$$(\text{PP O}_2 = 20\% \times 5 \text{ ATA})$$

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa pada kedalaman 40 meter (tekanan 5 ATA), penyelam yang bernafas dengan udara biasa akan menghirup oksigen dengan tekanan partial yang sama (0,1 ATA) seperti saat penyelam sedang menghirup 100% O₂ di permukaan air. Hukum ini penting untuk mengetahui efek toksik Gas Pernafasan pada kedalaman, Penyakit Dekompresi dan Penggunaan Oksigen maupun campuran gas untuk tujuan pengobatan.

c. Henry (Larutan Gas dan Cairan)



HUKUM HENRY

Bila keseimbangan (equilibrium) tercapai pada 2 ATA terlihat bahwa jumlah molekul yang terlarut adalah 2 kali lebih besar daripada jumlah yang terdapat pada 1 ATA

Gambar 2.2 b. Larutan gas dan cairan

Hukum ini berhubungan dengan penyerapan gas di dalam cairan. Dinyatakan bahwa pada suhu tertentu jumlah gas yang terlarut di dalam suatu cairan berbanding lurus dengan tekanan partial dari gas tersebut di atas cairan. Di permukaan laut (1 ATA) dalam tubuh manusia terdapat kira-kira 1 liter larutan Nitrogen. Apabila seorang penyelam turun sampai kedalaman 10 meter (2 ATA) tekanan partial dari Nitrogen yang dihirupnya menjadi 2 kali lipat dan akhirnya yang terlarut dalam jaringan juga menjadi 2 kali lipat (2 liter). Waktu sampai terjadinya keseimbangan tergantung pada daya larut gas di dalam jaringan dan pada kecepatan suplai gas ke jaringan oleh darah. Pengaruh fisiologis dari hukum ini terhadap seorang penyelam berlaku untuk Penyakit dekompresi, keracunan gas dan pembiusan gas Lambam (Inert Gas Narcosis). Apabila tekanan yang terdapat dalam larutan terlarut cepat berkurang, gas akan keluar dari larutan dalam bentuk gelembung-gelembung gas. Pada penyelam, pelepasan gelembung-gelembung ini dapat menyumbat pembuluh darah atau merusakkan jaringan-jaringan, hal ini menyebabkan berbagai pengaruh dari penyakit dekompresi atau "Bends". Dapat di lihat pengaruh yang sama pada karbon dioxide di dalam larutan. Saat membuka botol bir dengan tiba-tiba, maka akan terlihat gelembung-gelembung gas yang naik ke permukaan botol.

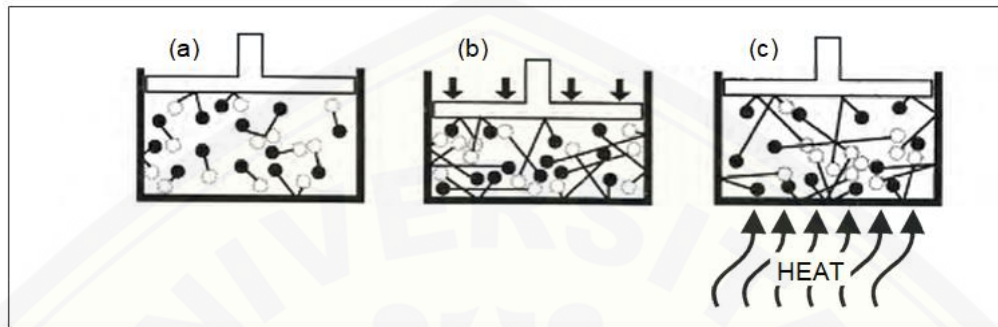
d. Teori Kinetik Gas.

Di permukaan bumi keteguhan tekanan atmosfer dan komposisi cenderung di terima tanpa mempedulikannya. Bagi penyelam, bagaimanapun, sifat lingkungan tekanan tinggi atau hiperbarik, gas sangat penting. Penjelasan dasar tentang perilaku gas di bawah semua variasi suhu dan tekanan dikenal sebagai teori kinetik gas.

Teori kinetik gas menyatakan: "Energi kinetik setiap gas pada suhu tertentu sama dengan energi kinetik gas lain pada suhu yang sama." Akibatnya, tekanan terukur dari semua gas yang dihasilkan dari aktivitas kinetik adalah dipengaruhi oleh faktor yang sama.

Energi kinetik gas berhubungan dengan kecepatan di mana molekul bergerak dan massa gas. Kecepatan adalah fungsi suhu dan massa adalah fungsi dari jenis gas. Pada suhu tertentu, molekul gas yang lebih berat bergerak dengan

kecepatan lebih rendah daripada gas ringan, namun kombinasi kecepatan massa dan kecepatannya sama dengan tingkat energi kinetik dan kekuatan benturan. Kekuatan benturan yang diukur, atau tekanan, mewakili energi kinetik gas. Ini dijelaskan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. c. Energi kinetik . Energi kinetik molekul di dalam wadah (a) menghasilkan tekanan konstan pada permukaan dalam. Karena volume kontainer menurun (b), molekul per satuan volume (densitas) meningkat dan begitu pula tekanannya. Seiring tingkat energi molekul meningkat dari penambahan energi panas (panas), begitu pula tekanan (c).

2.2.6 Gas-gas saat melakukan penyelaman

Menurut Dean at al (2016:14), Pengetahuan tentang sifat dan perilaku gas, terutama yang digunakan untuk bernapas, sangat penting bagi penyelam. Gas yang paling umum digunakan dalam menyelam adalah udara atmosfer, yang komposisinya ditunjukkan pada Tabel 2.2. Setiap gas yang ditemukan dalam konsentrasi berbeda dari pada Tabel 2.2 atau yang tidak tercantum dalam Tabel 2.2 dianggap sebagai kontaminan. Bergantung pada cuaca dan lokasi, banyak polutan industri dapat ditemukan di udara. Karbon monoksida adalah yang paling sering ditemui dan sering hadir disekitar knalpot mesin kompresor udara. Perhatian harus diberikan untuk menyingkirkan polutan dari udara tekan penyelam oleh penyaringan, lokasi masuk, dan perawatan kompresor yang tepat. Uap air dalam jumlah bervariasi hadir dalam udara tekan dan konsentrasinya penting dalam beberapa hal. Udara yang di hirup penyelam mengandung komponen-komponen sebagai berikut :

Tabel 2.2 Gas-gas dalam Penyelaman Dean at al 2016

Component	Percent by Volume	Parts per Million (ppm)
Nitrogen	78.084	
Oxygen	20.9476	
Carbon Dioxide	0.038	380
Argon	0.0934	
Neon		18.18
Helium		5.24
Krypton		1.14
Xenon		0.08
Hydrogen		0.5
Methane		2.0
Nitrous Oxide		0.5

Untuk sebagian besar tujuan dan perhitungan, udara sela diasumsikan terdiri dari 79 persen nitrogen dan 21 persen oksigen. Selain udara, beragam campuran oksigen, nitrogen, dan helium biasa digunakan dalam menyelam. Sementara gas-gas ini dibahas secara terpisah, gas-gas itu sendiri hampir selalu digunakan dalam beberapa campuran. Udara adalah campuran alami sebagian

besar dari gas tersebut. Pada beberapa jenis aplikasi selam, campuran khusus dapat dicampur menggunakan satu atau lebih gas dengan oksigen.

a. Oksigen

Oksigen (O) adalah gas terpenting dari semua gas dan merupakan salah satu elemen paling melimpah di bumi. Api tidak bisa terbakar tanpa oksigen dan orang tidak bisa bertahan tanpa oksigen. Udara di atmosfer berisi sekitar 21 persen oksigen, yang ada secara bebas dalam keadaan diatomik (dua atom dipasangkan untuk membuat satu molekul). Gas yang tidak berwarna, tidak berbau, hambar, dan aktif ini mudah di gabungkan dengan unsur lainnya. Dari udara yang kita hirup, hanya oksigen yang benar-benar digunakan oleh tubuh. 79 persen udara lainnya berfungsi untuk mencairkan oksigen. Oksigen murni 100 persen sering digunakan untuk pernapasan di rumah sakit, pesawat terbang, dan fasilitas perawatan medis hiperbarik. Terkadang 100 persen oksigen digunakan dalam operasi menyelam dangkal dan fase tertentu dari operasi menyelam campuran gas. Namun, menghirup oksigen murni di bawah tekanan dapat menyebabkan masalah serius toksisitas oksigen.

b. Nitrogen

Seperti oksigen, nitrogen (N) bersifat diatomik, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa, dan merupakan komponen dari semua organisme hidup. Tidak seperti oksigen, tidak akan mendukung kehidupan atau membantu pembakaran dan tidak mudah digabungkan dengan elemen lainnya. Nitrogen di udara lembam dalam keadaan bebas. Untuk menyelam, nitrogen bisa digunakan untuk mencairkan oksigen. Nitrogen bukan satu-satunya gas yang bisa digunakan untuk tujuan ini dan dalam beberapa kondisi memiliki kekurangan parah dibandingkan dengan gas lainnya. Nitrogen narcosis, gangguan yang diakibatkan oleh sifat anestesi nitrogen yang dihembuskan di bawah tekanan, dapat mengakibatkan hilangnya orientasi dan penilaian oleh penyelam. Untuk alasan ini, udara bertekanan, dengan kandungan nitrogennya yang tinggi, tidak digunakan di bawah kedalaman operasi menyelam yang ditentukan.

c. Helium

Helium (He) adalah gas tak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa, tapi monatomik (ada sebagai atom tunggal dalam keadaan bebasnya). Ini benar-benar inert. Helium adalah unsur langka, ditemukan di udara hanya sebagai elemen jejak sekitar 5 bagian per juta (ppm). Helium hidup berdampingan dengan gas alam di sumur-sumur tertentu di barat daya Amerika Serikat, Kanada, dan Rusia. Sumur ini menyediakan pasokan dunia. Bila digunakan dalam menyelam untuk mencairkan oksigen dalam campuran pernafasan, helium tidak menyebabkan masalah yang sama dengan narkosis nitrogen, namun memiliki kekurangan yang unik. Di antaranya adalah distorsi ucapan yang berlangsung di atmosfer helium. Efek "Donald Duck" disebabkan oleh sifat akustik dari helium dan mengganggu komunikasi suara dalam menyelam yang dalam. Karakteristik negatif lain dari helium adalah konduktivitas termalnya yang tinggi yang dapat menyebabkan hilangnya tubuh dan panas pernafasan dengan cepat.

d. Hidrogen

Hidrogen (H) bersifat diatomik, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa, dan sangat aktif sehingga jarang ditemukan di negara bebas di bumi. Namun, elemen paling melimpah di alam semesta yang terlihat. Matahari dan bintang hampir murni hidrogen. Hidrogen murni bersifat eksplosif jika dicampur dengan udara dalam proporsi yang mencakup lebih dari 5,3 persen oksigen. Hidrogen telah digunakan dalam menyelam (menggantikan nitrogen dengan alasan yang sama seperti helium) namun bahaya ini membatasi hal ini sedikit lebih banyak daripada eksperimen.

e. Neon

Neon (Ne) inert, monatomik, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa, dan ditemukan dalam jumlah kecil di atmosfer. Ini adalah gas berat dan tidak menunjukkan sifat narkotika nitrogen saat digunakan sebagai media pernapasan. Karena tidak menyebabkan masalah distorsi ucapan berhubungan dengan helium dan memiliki sifat isolasi termal yang superior, telah menjadi subjek beberapa eksperimen penelitian penyelaman.

f. Karbon Dioksida

Karbon dioksida (CO_2) tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa bila ditemukan dalam persentase kecil di udara. Dalam konsentrasi yang lebih besar ia memiliki rasa asam dan bau. Karbon dioksida adalah produk sampingan alami dari pernafasan hewan dan manusia, dan dibentuk oleh oksidasi karbon dalam makanan untuk menghasilkan energi. Bagi para penyelam, dua masalah utama dengan karbon dioksida adalah kontrol kuantitas dalam pasokan pernafasan dan pengangkatan knalpot setelah bernafas. Karbon dioksida dapat menyebabkan ketidaksadaran saat bernapas pada tekanan parsial yang meningkat. Dalam konsentrasi tinggi gas bisa sangat beracun. Dalam kasus aparatus pernafasan tertutup dan semi-sirkulasi, penghilangan kelebihan karbon dioksida yang dihasilkan oleh pernafasan sangat penting untuk keselamatan.

g. Karbon Monoksida

Karbon monoksida (CO) adalah gas tak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan beracun yang keberadaannya sulit dideteksi. Karbon monoksida terbentuk sebagai produk pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna, dan paling sering ditemukan di knalpot mesin pembakaran dalam. Suplai udara penyelam bisa terkontaminasi oleh karbon monoksida saat asupan kompresor ditempatkan terlalu dekat dengan knalpot mesin kompresor. Gas buang disedot dengan udara dan dikirim ke penyelam, dengan hasil yang berpotensi bencana. Karbon monoksida secara serius mengganggu kemampuan darah untuk membawa oksigen yang dibutuhkan agar tubuh berfungsi normal. Afinitas karbon monoksida untuk hemoglobin kira-kira 210 kali dari oksigen. Karbon monoksida terdisosiasi dari hemoglobin pada tingkat yang jauh lebih lambat dari pada oksigen.

2.3 Penyakit Dekompresi

2.3.1 Definisi

Penyakit dekompresi atau *Caisson disease* disebut juga *Bends*, *Compressed air illness*, *Divers palsy*, *dysbarism* dan *aeroembolism*. Tetapi istilah itu sudah jarang digunakan. Pertama kali penyakit ini ditemukan oleh Triger pada tahun 1841, yang melihat adanya gejala-gejala nyeri pada tungkai dan kejang otot

yang diderita pekerja tambang batubara. Pada tahun 1878, Paul Bert menemukan bahwa gelembung-gelembung gas yang ada di jaringan adalah nitrogen. Bertahun-tahun lamanya orang beranggapan bahwa terbentuknya gelembung gas adalah penyebab semua gejala *caisson disease* sampai akhirnya pada tahun 1937, Swindle dan End menemukan bahwa ada juga perubahan-perubahan biokimia karena trauma akibat pengembangan gelembung-gelembung gas yang menyebabkan aglutinasi eritrosit dan agregasi trombosit. Hukum fisika yang berhubungan dengan penyakit ini adalah Hukum Henry yang berbunyi “banyaknya gas yang terlarut didalam cairan adalah sebanding dengan tekanan gas di atas cairan tersebut” (Noltkamper, 2012)

Edmonds *et al.* (2015:150) menyatakan penyakit dekompresi disebabkan oleh timbulnya gelembung dalam darah sebelum atau sesudah adanya perubahan tekanan lingkungan. Menurut Brown dan Antunano (tanpa tahun) menyatakan, sebuah penyakit yang disebabkan oleh terbentuknya gelembung gas yang terbentuk setelah menyelam. Dalam olah raga menyelam gas utama yang terbentuk adalah nitrogen hal tersebut terjadi karena penyelam menghirup udara. Ketika penyelam bernafas melalui peralatan menyelam pada kedalaman tertentu, nitrogen akan terbentuk saat tekanan parsial meningkat. Karena gas berpindah dari tekan tinggi ke tekanan rendah, nitrogen akan masuk ke paru-paru melalui aliran darah dan diangkut keseluruh bagian tubuh. Semakin dalam melakukan penyelaman maka semakin besar pula tekanan dari nitrogen sehingga semakin besar pula nitrogen akan diserap. Kecepatan aliran dari nitrogen dipengaruhi oleh kecepatan aliran darah. Organ dengan kebutuhan metabolisme tinggi seperti otak, jantung, ginjal, hati, menerima pasokan darah yang lebih banyak daripada organ lain sehingga semakin tinggi pula kadar nitrogen yang masuk melalui darah.

2.3.2 Sejarah

Penyakit dekompresi adalah suatu kecelakaan karena penurunan tekanan lingkungan yang mendadak seperti pada penyelaman atau pada pertambangan, yaitu pada saat pekerja keluar dari lingkungan pekerjaannya.

Penyakit dekompresi pertama kali dilaporkan oleh Triger di Perancis tahun 1843 yang melihat gejala nyeri dan kejang otot pada pekerja batubara. Pol dan wattle tahun 1854 memperhatikan bahwa gejala penyakit tersebut akan hilang bila di kembalikan di lingkungan semula. Friedburg melaporkan pada tahun 1872 bahwa gejala tersebut diatas adalah akibat adanya gelembung gelembung gas pada jaringan. Paul bert pada tahun 1876 menemukan gelembung gas yang ada dalam jaringan tersebut adalah nitrogen. Boycot dan damant pada tahun 1908 melaporkan bahwa binatang yang gemuk lebih mudah terkena penyakit dekompresi dibandingkan dengan binatang yang kurus, karena lemak adalah jaringan yang merupakan reservoir bagi N_2 , sedangkan N_2 itu Asendiri lima kali lebih mudah larut dalam minyak daripada dalam air. Swindle dan end tahun 1937 menemukan perubahan-perubahan biokimia yang dikenal karena trauma akibat pengembangan gelembung gas yang menyebabkan aglutinasi eritrosit dan agregasi trombosit (U.S Navy Chapter 9,2016).

2.3.3 Patologi

Penyakit dekompresi berhubungan erat dengan teori hukum henry, yang menyebutkan bahwa gas akan menjadi larut dalam cairan ketika gas tersebut mengalami tekanan. Ketika menyelam terjadi perubahan volume pada organ-organ tubuh yang diakibatkan oleh peningkatan tekanan. Kondisi tersebut merusak jaringan yang berada disekitar organ. Begitupula jika penyelam naik ke permukaan terlalu cepat, gas nitrogen yang berada didalam tubuh tidak dapat dikeluarkan sehingga terbentuk gelembung-gelembung (Edmonds et.al, 2015 : 135).

Riyadi dalam bukunya Ilmu kesehatan penyelaman dan hiperbarik yang dikutip oleh Alias (2013:93-108) menulis bahwa otopsi pada manusia dan binatang dalam kasus *caisson disease* yang berat menunjukkan adanya gelembung-gelembung gas dalam pembuluh darah dan jaringan ekstrasvaskuler. Timbulnya gelembung-gelembung gas tadi berhubungan dengan timbulnya peristiwa supersaturasi gas dalam darah ataupun jaringan tubuh pada waktu proses penurunan tekanan di sekitar tubuh (dekompresi). Kondisi supersaturasi gas dalam

darah dan jaringan sampai suatu batas tertentu masih dapat ditoleransi, dalam arti masih memberi kesempatan gas untuk berdifusi keluar dari jaringan dan larut dalam darah, kemudian ke alveoli paru dan diekshalasi keluar tubuh. Setelah melewati suatu batas kritis tertentu (*supersaturation critique*), kondisi supersaturasi akan menyebabkan gas lepas lebih cepat dari jaringan atau darah dalam bentuk tidak larut, yaitu berupa gelembung gas. Gelembung-gelembung gas ada yang terbentuk dalam darah (intravaskuler), jaringan (ekstravaskuler), dan dalam sel (intraseluler).

Dengan adanya fenomena seperti di atas, maka ada korelasi antara jumlah gelembung gas yang terbentuk dengan kemungkinan timbulnya atau berat ringannya penyakit dekompresi. Gelembung gas ekstravaskuler menimbulkan distorsi jaringan dan kemungkinan kerusakan sel-sel di sekitarnya. Ini bisa mengakibatkan gejala-gejala neurologis maupun gejala nyeri periartikuler. Terbentuknya gelembung gas ekstravaskuler secara teoritis karena aliran darah vena di jaringan tersebut yang relatif lambat sehingga menghambat kecepatan eliminasi gas dari jaringan. Gelembung-gelembung gas intravaskuler akan menimbulkan 2 akibat, yaitu :

- a. Akibat langsung atau akibat mekanis sumbatan menimbulkan iskemia atau kerusakan jaringan sampai infark jaringan,
- b. Akibat tidak langsung atau akibat sekunder dari adanya gelembung gas dalam darah (dikenal dengan *secondary blood bubble interface reactions*) bertanggung jawab atas terjadinya fenomena hipoksia seluler pada penyakit dekompresi.

Darah adalah cairan tubuh yang tercepat menerima dan melepaskan nitrogen. Darah menerima nitrogen dari paru dan mencapai kejenuhan nitrogen dalam waktu beberapa menit. Otak termasuk dalam jaringan yang cepat karena mempunyai banyak suplai darah. Tulang rawan pada permukaan sendi mempunyai suplai darah yang kurang, sehingga memerlukan waktu lebih lama (sampai beberapa jam) untuk mencapai kejenuhan nitrogen. Nitrogen mempunyai daya larut yang baik dalam jaringan lemak, sehingga jaringan lemak bisa melarutkan nitrogen lebih banyak daripada jaringan-jaringan lainnya.

Konsep jaringan cepat dan lambat penting untuk memahami bentuk-bentuk klinis penyakit dekompresi yang mungkin timbul. Penyelaman singkat dan dalam akan menghasilkan pembebanan nitrogen yang tinggi pada jaringan-jaringan cepat, tetapi tidak cukup waktu untuk pembebanan tinggi pada jaringan-jaringan lambat. Dekompresi yang inadeguat memungkinkan pembentukan gelembung nitrogen didalam darah yang bias mengakibatkan gangguan pernapasan (*chokes*) atau gejala neurologis. Penyelaman yang relatif dangkal tapi lama akan memberikan pembebanan nitrogen yang kurang lebih sama antara jaringan cepat dan jaringan yang lebih lambat. Perbedaan tekanan yang tidak terlampau besar antara kedalaman dan permukaan menyebabkan darah lebih mampu mentolerir kelebihan nitrogen tersebut, karena darah sebagai jaringan cepat bisa mengeliminasi nitrogen lebih cepat lewat alveoli paru sedangkan jaringan lambat tidak bisa. Penyelaman seperti ini cenderung menimbulkan nyeri pada persendian (*bends*), karena sendi adalah jaringan lambat dan tidak dapat melepas nitrogen dengan cepat lewat darah.

Arfa (2012) dalam Alias (2013:93-108) menyatakan bila seseorang menggunakan udara bertekanan tinggi sebagai media pernapasan untuk menyelam, maka semakin dalam dan semakin lama nelayan menyelam akan semakin banyak gas yang larut dan ditimbun dalam jaringan tubuh. Sesuai hukum Henry, volume gas yang larut dalam suatu cairan sebanding dengan tekanan gas di atas cairan itu. Karena oksigen (O_2) dikonsumsi dalam jaringan tubuh, maka yang tinggal adalah Nitrogen (N_2) yang merupakan gas inert (tidak aktif). Seperti kita ketahui tekanan udara di permukaan laut adalah 1 Atmosfer Absolut (ATA) dan setiap kedalaman 10 meter maka tekanan akan bertambah 1 ATA. Jadi bila 1 liter N_2 terlarut didalam tubuh seseorang penyelam pada permukaan, maka pada kedalaman 20 meter (3 ATA) ia akan menyerap 3 liter N_2 . N_2 yang berlebihan ini akan didistribusikan oleh darah ke dalam jaringan-jaringan sesuai dengan kecepatan aliran darah ke jaringan tersebut serta daya gabung jaringan terhadap N_2 . Jaringan lemak mempunyai daya gabung N_2 yang tinggi dan melarutkan banyak N_2 daripada jaringan yang lainnya. Ketika penyelam naik ke permukaan dan tekanan gas turun, terjadi kebalikan dari proses yang memenuhi tubuh dengan

N₂. Tekanan parsial N₂ yang rendah dalam paru-paru selama naik menyebabkan darah melepaskan N₂ ke dalam paru-paru. Proses ini berlangsung beberapa jam karena jaringan lambat melepaskan N₂ dengan perlahan-lahan, dan tubuh memerlukan 24 jam atau lebih untuk menghilangkan semua N₂ yang berlebihan. Jika dekompresi berlangsung terlalu cepat, maka N₂ tidak dapat meninggalkan jaringan dengan cepat dan teratur seperti yang dilukiskan diatas. Tekanan yang tiba-tiba menurun tidak cukup untuk mempertahankan kelarutan gas sehingga timbul gelembung, seperti fenomena yang kita lihat bila tutup botol bir dibuka dengan tiba-tiba.

2.3.4 Teori Pembentukan Gelembung Gas

Asal mula terjadinya gelembung gas tidak dimengerti. Dengan perbagai percobaan dapat diketahui bahwa gelembung gas dapat terjadi spontan dalam media cairan dengan beberapa mekanisme, atau dapat berkembang mulai dari gas mikronuklei.

Teori *in vivo* mengatakan bahwa pembentukan gelembung gas dapat terjadi spontan karena adanya supersaturasi pada tekanan 0,5-0,7 ATM pada binatang percobaan. Sedangkan teori *in vitro* menyatakan inti gas adalah partikel gas yang bersatu. Meningkatnya supersaturasi mengakibatkan terbentuknya inti sehingga makin banyak gelembung gas terbentuk. Inti gas tersebut berbentuk spheris dan stabil, dapat larut karena tegangan permukaan meningkat tekanan dalam dari gelembung gas diatas tekanan barometri/absolut (hukum Laplace) menurut youth et al tahun 1979 dalam (Simanungkalit, 1997).

Teori tribonucleasi mengatakan gelembung gas terjadi bila 2 lapisan permukaan cairan bersinggungan akibat tekanan negatif yang besar.

Rumus supersaturasi

Supersaturasi : $p_g + p_v - p_{abs}$

p_g : dissolved gas tension

p_v : vapour pressure

p_{abs} : absolute pressure

2.3.5 Prinsip Dasar Prosedur Dekompresi

Berdasarkan penelitian yang dikembangkan haldane, dilaporkan bahwa tekanan yang dialami peselam dapat diturunkan dengan cepat menjadi setengahnya, dengan rasio 2:1 tanpa menimbulkan gangguan yang berarti. Berdasarkan konsep tersebut disusun tabel dekompresi untuk bermacam kedalaman dan lama penyelaman, yang dari kedalaman tertentu peselam boleh langsung naik dan berhenti beberapa menit pada kedalaman tertentu yang tekanan absolutnya setengah dari tekanan awal. Tempat pemberhentian tadi disebut stasiun dekompresi, sedangkan cara naik kepermukaan dengan berhenti pada stasiun-stasiun dekompresi disebut prosedur dekompresi.

Prinsip yang menjadi dasar untuk pembuatan tabel dekompresi sampai sekarang adalah sebagai berikut:

- a. Proses saturasi dan desaturasi dari gas dalam tubuh kita berjalan secara eksponensial.
- b. Kecepatan proses saturasi berbeda pada berbagai bagian tubuh.
- c. Prosedur dekompresi selalu dimulai dengan turunya tekanan dekompresi secara cepat.
- d. Tekanan pasial N_2 bagian badan harus lebih kecil dari 2x tekanan udara luar.

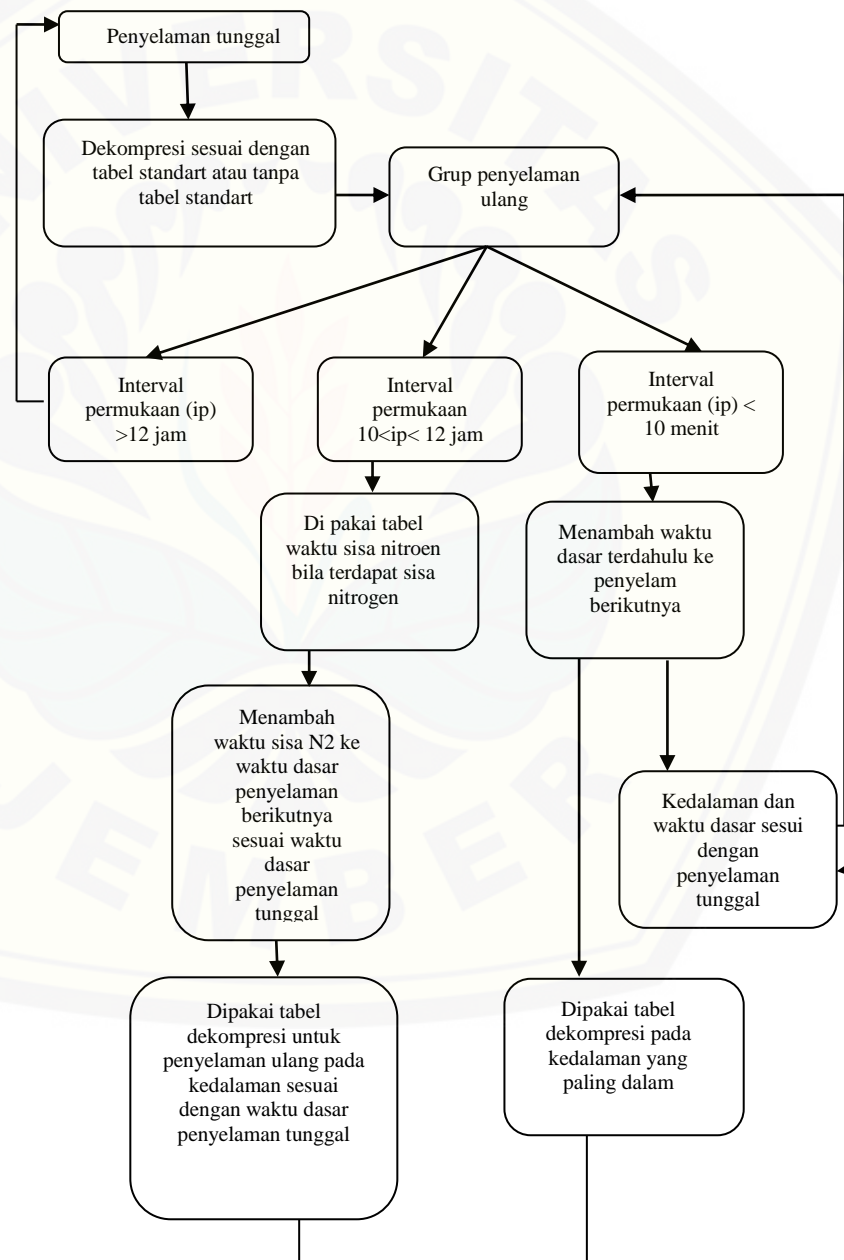
Walaupun sudah menggunakan prosedur yang benar, setelah menyelesaikan penyelamannya, pada tubuh peselam masih terdapat sisa nitrogen dalam jumlah yang tidak membahayakan. Sisa nitrogen tersebut setelah 12 jam dipermukaan dianggap bersih dari tubuh karena telah dikeluarkan lewat udara pernafasan. Bila kurang 12 jam dari penyelaman pertama dilakukan penyelaman kedua, maka terjadi kelebihan nitrogen dalam tubuhnya yang oleh darah akan didistribusikan ke jaringan sesuai dengan kecepatan aliran darah dan daya gabung N_2 .

2.3.6 Prosedur Penyelaman

- a. Penyelaman tanpa dekompresi menurut U.S.Navy (U.S Navy vol 2 chapter 9,2016:3)

Dianjurkan mengurangi waktu dasar 5 menit dari batas waktu tanpa dekompresi, sebagai faktor keamanan guna mencegah terjadinya kecelakaan dekompresi.

- b. Penyelaman dengan dekompresi



Gambar 2.1 Penyelaman dengan dekompresi U.S Navy chapter 9 (2016:3)

2.3.7 Faktor yang Mempengaruhi Penyakit Dekompresi

Secara umum, apapun yang meningkatkan laju aliran darah ke organ juga akan meningkatkan aliran dari nitrogen. Serta apapun yang menghambat aliran darah menuju organ, juga akan menghambat aliran dari nitrogen. Edmonds et.al (2015:139) menyatakan beberapa faktor yang mempengaruhi risiko penyakit dekompresi adalah sebagai berikut:

a. Lama penyelaman

Konsep jaringan cepat dan lambat penting untuk memahami bentuk-bentuk klinis penyakit dekompresi yang mungkin timbul. Penyelaman singkat dan dalam akan menghasilkan pembebanan nitrogen yang tinggi pada jaringan-jaringan cepat, tetapi tidak cukup waktu untuk pembebanan tinggi pada jaringan-jaringan lambat. Dekompresi yang inadkuat memungkinkan pembentukan gelembung nitrogen didalam darah yang bisa mengakibatkan gangguan pernapasan (*chokes*) atau gejala neurologis.

Penyelaman yang relatif dangkal tapi lama akan memberikan pembebanan nitrogen yang kurang lebih sama antara jaringan cepat dan jaringan yang lebih lambat. Perbedaan tekanan yang tidak terlampau besar antara kedalaman dan permukaan menyebabkan darah lebih mampu mentolerir kelebihan nitrogen tersebut, karena darah sebagai jaringan cepat mengeliminasi nitrogen lebih cepat lewat alveoli paru sedangkan jaringan lambat tidak bisa. Penyelamand seperti ini cenderung menimbulkan nyeri pada persendian karena sendi adalah jaringan lambat dan tidak dapat melepas nitrogen dengan cepat lewat darah.

b. Kedalaman

Penyelaman lebih dari 10 meter dapat mengakibatkan munculnya gelembung gas yang dapat memicu penyakit dekompresi. Semakin dalam penyelaman maka semakin besar gelembung gas yang dihasilkan. Kondisi tersebut berbanding lurus dengan durasi, semakin lama penyelaman maka juga semakin besar kemngkinan terbentuknya gelembung gas.

Arfa (2012) dalam Alias (2013:93-108) menyatakan bila seseorang menggunakan udara bertekanan tinggi sebagai media pernapasan untuk menyelam, maka semakin dalam dan semakin lama penyelam melakukan penyelaman, akan semakin banyak pula gas yang larut dan ditimbun dalam jaringan tubuh. Sesuai hukum Henry, volume gas yang larut dalam suatu cairan sebanding dengan tekanan gas di atas cairan itu. Karena oksigen (O_2) dikonsumsi dalam jaringan tubuh, maka yang tinggal adalah Nitrogen (N_2) yang merupakan gas inert (tidak aktif).

Seperti kita ketahui tekanan udara di permukaan laut adalah 1 Atmosfer Absolut (ATA) dan setiap kedalaman 10 meter maka tekanan akan bertambah 1 ATA. Jadi bila 1 liter N_2 terlarut didalam tubuh seseorang penyelam pada permukaan, maka pada kedalaman 20 meter (3 ATA) ia akan menyerap 3 liter N_2 . N_2 yang berlebihan ini akan didistribusikan oleh darah ke dalam jaringan-jaringan sesuai dengan kecepatan aliran darah ke jaringan tersebut serta daya gabung jaringan terhadap N_2 .

Jaringan lemak mempunyai daya gabung N_2 yang tinggi dan melarutkan banyak N_2 daripada jaringan yang lainnya. Ketika penyelam naik ke permukaan dan tekanan gas turun, terjadi kebalikan dari proses yang memenuhi tubuh dengan N_2 . Tekanan parsial N_2 yang rendah dalam paru-paru selama naik menyebabkan darah melepaskan N_2 kedalam paru-paru proses ini berlangsung beberapa jam karena lambat melepaskan N_2 dengan perlahan-lahan, dan tubuh memerlukan 24 jam atau lebih untuk menghilangkan semua N_2 yang berlebihan.

Jika dekomposisi berlangsung terlalu cepat, maka N_2 tidak dapat meninggalkan jaringan dengan cepat dan teratur seperti yang dilukiskan diatas. Tekanan yang tiba-tiba menurun tidak cukup untuk mempertahankan kelarutan gas sehingga timbul gelembung, seperti fenomena yang kita lihat bila tutup botol bir dibuka dengan tiba-tiba (Alias, 2013:93-108).

c. Frekuensi Penyelaman

Campbell mengemukakan beberapa faktor yang ditemukan dapat meningkatkan kejadian penyakit dekomposisi, yaitu menyelam berulang-ulang,

menyelam melebihi batas dekompresi, kehabisan udara, kecepatan naik ke permukaan, melakukan penerbangan setelah menyelam dan menyelam terlalu dalam.

Standart melakukan penyelaman ulang dengan istirahat di darat kurang dari 10 menit (penyelaman tunggal). Kedalaman yang dihitung adalah penyelaman yang terdalam, dan lama penyelaman yang pertama dan kedua harus dijumlahkan. Kemudian dilihat tabel prosedur penyelaman benar atau salah. kriteria melakukan penyelaman ulang dengan waktu istirahat di darat > 10 menit, lama dan kedalaman tiap penyelaman di hitung.

d. Kecepatan naik kepermukaan

Kecepatan saturasi berbeda-beda untuk tiap gas secara individual. Untuk kecepatan perfusi yang konstan, kecepatan saturasi terutama tergantung kepada sifat fisika-kimia dari gas tersebut. Perbedaan dari kecepatan saturasi merupakan hasil perbedaan dari koefisien daya larut dalam jaringan lemak dan jaringan barier. Lemak mempunyai daya gabung nitrogen yang tinggi dan melarutkan 5x lebih banyak nitrogen daripada air. Kecepatan superturasi gas di dalam darah dan jaringan pada batas tertentu masih dianggap aman, bila tekanan lingkungan diturunkan secara bertahap, dalam arti masih bisa memberikan kesempatan gas untuk berdifusi keluar dari jaringan dan larut dalam darah, kemudian menuju alveoli paru lalu keluar melalui pernafasan.

Bila batas maksimum kecepatan penurunan tekanan lingkungan diturunkan secara bertahap, dalam arti masih bisa memberikan kesempatan gas untuk berdifusi keluar dari jaringan dan larut dalam darah, kemudian menuju alveoli paru lalu keluar melalui pernafasan. Bila batas maksimum kecepatan penurunan tekanan lingkungan dilampaui, maka kondisi superturasi gas dalam darah dan jaringan melewati batas krisis superturasi, sehingga menyebabkan gas nitrogen tidak larut dan lebih cepat lepas dari jaringan dan darah dalam bentuk gelembung gas nitrogen. ukuran gelembung gas tergantung dari volume gas yang disebabkan oleh difusi O_2 , CO_2 dan gas inert lainnya.

Pada peselam dengan mempergunakan udara sebagai media pernafasannya untuk melakukan penyelaman, maka nitrogen merupakan bagian yang terbesar

yang berfungsi sebagai carier oksigen. Apabila peselam dalam melakukan penyelaman dalam dan lama, akan semakin banyak gas nitrogen yang larut dalam cairan darah serta tertimbun dalam jaringan dan apabila penyelam naik ke permukaan terlalu cepat maka akan timbul gelembung gas dalam pembuluh darah dan limfe. Untuk itu perlu prosedur tertentu bila naik kepermukaan agar tidak terbentuk gelembung nitrogen tersebut. Dalam tabel dekompresi, standart laju kecepatan naik ke permukaan adalah 60 feet/menit atau 1 feet / detik atau 18 meter/ menit (Dean et al, 2016)

e. Proses Adaptasi Tubuh

Penyelaman yang dilakukan berulang memungkinkan bagi tubuh untuk melakukan proses adaptasi sehingga tubuh dengan sendirinya akan mengurangi gelembung gas yang terbentuk. Namun tidak semua individu mampu melakukan proses adaptasi ini.

f. Usia

Usia yang lebih tua lebih besar kemungkinannya untuk terkena penyakit dekompresi karena sel-sel telah mengalami degenerasi.

g. Obesitas

Proses penyerapan gelembung gas pada individu yang memiliki kadar lemak tinggi mengalami peningkatan hingga 4-5 kali lebih cepat.

h. Riwayat cedera

Pada bagian otot atau sendi yang teluka, proses pembentukan gelembung gas akan menjadi lebih cepat.

i. Temperatur air

Temperatur yang telalu rendah membuat terbentuknya gelembung gas menjadi lebih cepat. Suhu air di sekeliling menentukan kenyamanan penyelam secara maksimal. Hampir semua suhu perairan lebih dingin dari suhu badan yang normal yaitu 37°C atau 98°F. Oleh karena itu, seorang penyelam akan kehilangan panas terhadap air karena konduksi.

Suhu air semakin berkurang secara nyata bersamaan dengan bertambahnya kedalaman dan perubahan suhu terbesar yaitu pada kedalaman 10 m pertama. Hal ini disebabkan karena hilangnya sebagian besar panas matahari pada kedalaman

yang lebih yang menyebabkan suhu disekitar menjadi dingin. Air yang dingin dapat menyebabkan gangguan-gangguan fisiologis yang gawat seperti pusing/vertigo, dan sakit kepala.

Air dingin membuat vasokonstriksi (penyempitan pembuluh darah) sehingga nitrogen sulit untuk dikeluarkan. Sedangkan air hangat menyebabkan vasodilatasi (pelebaran pembuluh darah) dan posisi kepala di bawah meningkatkan eliminasi nitrogen.

j. Alkohol dan narkoba

Pecandu alkohol dan narkoba rentan untuk mengalami penyakit dekompresi, termasuk mengkonsumsi sebelum melakukan penyelaman. Zat yang terkandung akan mempercepat timbulnya gelembung gas.

k. Kondisi fisik

Semakin tinggi energi yang dibutuhkan maka semakin besar laju aliran darah yang disirkulasikan, sehingga apabila darah mengandung gelembung gas maka organ akan semakin rentan mengalami penyakit dekompresi.

Dalam artikel yang ditulis Oleh Campbell (2010) yang berjudul “*Prevention of Decompression Accidents*” mengategorikan beberapa penyebab terjadinya penyakit dekompresi, yaitu sebagai berikut :

a. Perbedaan fisiologis individu, seperti :

- 1) Dehidrasi: Ini mungkin yang paling penting dari faktor-faktor penyebab dekompresi. Meminum air dalam jumlah yang cukup (8-10 gelas/hari). Hal diperlukan untuk melawan efek pengeringan udara terkompresi dan diuresis wajib bahwa semua penyelam dapatkan dari perendaman. Banyak hal yang menyebabkan dehidrasi seperti kopi, alkohol, muntah dan diare.
- 2) Penyakit yang mempengaruhi paru-paru atau efisiensi sirkulasi yang sudah ada: paru-paru bertindak sebagai penyaring untuk gelembung yang ada dalam tubuh penyelam. Penyakit paru-paru kronis, gagal jantung keduanya cenderung meningkatkan risiko penyakit dekompresi. Penurunan perfusi dari sumber manapun dapat meningkatkan kemungkinan penyakit dekompresi. *Intracardiac defek septum* (PFO) melewati efek penyaringan dari paru-paru dan meningkatkan risiko gelembung.

- 3) Jaringan parut yang pernah cidera atau rusak.
- 4) Pernah mengalami penyakit dekompresi sebelumnya.
- 5) Jenis Kelamin; perempuan lebih mudah menderita penyakit dekompresi, terutama selama menstruasi.
- 6) Obesitas: Beberapa studi telah dicurigai obesitas sebagai faktor dalam meningkatkan risiko penyakit dekompresi. Menumpuknya lemak dalam pembuluh darah dan penurunan perfusi (kemampuan untuk membuang gas) dapat menyebabkan penyakit dekompresi. Nitrogen adalah gas yang larut dalam lemak.
- 7) Kelelahan : banyak yang salah menduga bahwa kelelahan bukan faktor yang menyebabkan penyakit dekompresi. Faktanya kelelahan juga merupakan gejala halus dari penyakit dekompresi. Kelelahan disebabkan oleh lama kerja ataupun beban kerja, bahwa semakin berat beban kerja atau lama kerja maka semakin banyak pula energi dan nutrisi yang diperlukan atau dikonsumsi oleh tubuh.
- 8) Umur: Semakin tua penyelam telah lama dianggap telah meningkatkan kecenderungan untuk memiliki penyakit dekompresi.
- 9) Kondisi fisik yang buruk: kebugaran fisik yang baik akan meningkatkan perfusi dan memastikan pertukaran gas yang baik.
- b. Faktor lingkungan meliputi berikut :
 - 1) Air dingin membuat vasokonstriksi (penyempitan pembuluh darah) sehingga nitrogen sulit untuk dikeluarkan. Sedangkan air hangat menyebabkan vasodilatasi (pelebaran pembuluh darah) dan posisi kepala di bawah meningkatkan eliminasi nitrogen.
 - 2) Pekerjaan berat. Pekerjaan pada kedalaman akan meningkatkan serapan nitrogen dan dapat merugikan tubuh.
 - 3) Kondisi laut yang berbahaya.
 - 4) Pakaian selam yang panas dapat menyebabkan dehidrasi.

Penyelam yang telah kedinginan akibat penyelaman tingkat tinggi lalu mandi dengan air panas atau hangat, dapat merangsang pembentukan gelembung dalam tubuh. Campbell (2010) menambahkan pula beberapa faktor yang

ditemukan dapat meningkatkan kejadian penyakit dekompresi, yaitu menyelam berulang-ulang, menyelam melebihi batas dekompresi, kehabisan udara, kecepatan naik ke permukaan, melakukan penerbangan setelah menyelam dan menyelam terlalu dalam.

2.3.8 Klasifikasi penyakit dekompresi

a. Tipe 1

Edmonds *et al.* (2015:150) menyatakan bahwa penyakit dekompresi disebut juga “pain only bends” karena gejala utamanya adalah nyeri. Brown (tanpa tahun), berpendapat salah satu penyebab rasa nyeri di tendon atau otot pada daerah sekitar sendi adalah gejala umum dari penyakit dekompresi. Persendian pada bahu adalah daerah yang paling sering mengalami nyeri dari pada persendian pada siku, pergelangan tangan, pergelangan kaki, pinggul dan lutut. Nyeri ini dapat terjadi pada dua sendi atau lebih selama sendi tersebut berdekatan misalnya bahu dan siku di sisi yang sama.

Gejala awalnya di mulai dari ketidaknyamanan dari daerah sekitar sendi. Rasa nyeri akan timbul 2 jam berikutnya seperti timbul rasa berdenyut-denyut. Apabila tidak ditangani rasa nyeri akan berlanjut hingga beberapa hari sebelum perlahan-lahan menghilang/mereda. Terkadang sulit membedakan antara penyakit dekompresi dengan penyakit persendian lain seperti : arthritis/penyakit tegang otot. Pada kondisi selanjutnya, pada daerah sekitar sendi biasanya muncul tanda-tanda seperti bengkak dan berwarna kemerahan. Secara umum rasa nyeri disekitar sendi setelah melakukan penyelaman berulang dan dilakukan lebih dari 10 meter di asumsikan sebagai penyakit dekompresi sampai ditemukan gejala lain yang menunjukkan bukan penyakit dekompresi

b. Tipe 2

Tipe ini adalah penyakit dekompresi yang serius, di mana bagian yang terserang adalah sistem saraf pusat atau sistem kardiopolmuner. Gejala sistem saraf pusat yang disebabkan oleh penyakit dekompresi mempengaruhi kinerja otak, sumsum tulang belakang dan saraf tepi. Menurut Edmonds *et al.* (2015:151) beberapa fungsi yang terganggu adalah sebagai berikut:

- 1) Panca Indera
Yang dimaksud fungsi panca indra disini meliputi pendengaran, penglihatan, perasa, pengecap, penciuman, dan peraba.
- 2) Gerakan (Keseimbangan dan koordinasi tubuh)
Hal ini mencakup kemampuan untuk bergerak pada otot dan kekuatan untuk menggerakkan atau mengkoordinasi tubuh.
- 3) Kesadaran dan intelektual
Gejala yang mengganggu fungsi intelektual meliputi fungsi dari kesadaran, kemampuan berfikir, dan memori.
- 4) Fungsi otonom
Akibat yang ditimbulkan adalah kegagalan fungsi jantung dan sistem pernafasan yang dapat mengakibatkan kematian.
- 5) Reflek
Beberapa gejala pada bagian tubuh yang diakibatkan dari penyakit dekompresi adalah sebagai berikut:
 - 1) Otak
Pada otak gejala yang ditimbulkan dari penyakit dekompresi adalah timbulnya gelembung udara di pembuluh darah atau sekitarnya yang menyebabkan terhambatnya aliran darah dan memberikan tekanan pada jaringan saraf. Gejala lain yang ditimbulkan adalah pembengkakan pada otak yang diakibatkan peningkatan tekanan pada tengkorak. Bagian otak yang bertanggung jawab untuk mengkoordinasikan tubuh juga terkena dampak.
 - 2) Telinga
Akibat dari penyelaman pada kedalaman lebih dari 10 meter dan berulang akan menyebabkan gangguan pada pendengaran khususnya pada bagian koklea dan sistem keseimbangan yang terdapat pada telinga. Gangguan yang disebabkan adalah, suara bising atau dengung pada telinga, vertigo, mual dan muntah.

3) Paru-paru

Gelembung nitrogen sering ditemukan didalam pembuluh darah yang terdapat di paru-paru setelah malakukan penyelaman yang tidak sesuai dengan prosedur penyelaman. Gelembung tersebut akan terperangkap didalam paru-paru sehingga menghalangi aliran darah dan mengakibatkan gangguan fungsi paru-paru (sesak nafas).

4) Hati dan jantung

Gelembung nitrogen yang terbentuk di pembuluh darah biasanya di saring oleh paru-paru kondisi ini menyebabkan gangguan pada jantung khususnya pada bagian katub yang berada diantara artium kanan dan kiri. Ketika gelembung nitrogen masuk dan memenuhi paru-paru mengakibatkan terjadinya tekanan balik pada atrium kanan lebih besar dari pada atrium kiri. Kondisi tersebut membuat katub diantara atrium kanan dan kiri terbuka dan mengalirkan gelembung dari atrium kanan ke atrium kiri. Sebagai akibatnya gelembung nitrogen dipompa keseluruh bagian tubuh. Gelembung nitrogen juga dapat menembus pembuluh arteri koroner yang masuk ke jantung sehingga dapat menghambat pasokan darah yang masuk kedalam jantung. Kondisi tersebut mengakibatkan kerusakan pada otot jantung. Gejala fisik yang ditimbulkan adalah nyeri dada dan sesak nafas.

5) Sistem pencernaan

Bercampurnya gelembung nitrogen dalam darah dapat mengakibatkan gangguan pada usus. Gejala yang ditimbulkan seperti sakit perut, kram usus, dan muntah.

6) Kulit

Kondisi tersebut disebabkan karena adanya perubahan tekanan didalam kulit.

2.3.9 Efek Tubuh Terhadap Pembentukan Gelembung Gas

Dari tulisan beberapa penelitian dalam U.S Navy chapter 3 (2016 : 46) diketahui bahwa, gelembung gas N₂ yang terbentuk terdapat pada intravaskuler dan ekstrasvaskuler. Terbentuknya gelembung karena aliran darah vena dari jaringan tersebut relatif lebih lambat sehingga menghambat kecepatan eliminasi dari jaringan. Asal gelembung gas adalah dari jaringan kemudian masuk ke vena lalu ke paru-paru dilanjutkan ke arteri. Paru-paru berfungsi efektif untuk menyaring gelembung gas karena tekanan arteriol paru lebih rendah daripada tekanan arteri sistemik. Gelembung gas yang terbentuk memberikan dua macam akibat:

- a. Efek langsung/mekanik
Ekspansi gelembung akan menimbulkan:
 - 1) Distorsi jaringan / robekan jaringan
 - 2) Sumbatan aliran darah
 - 3) Kerusakan sel-sel sekitarnya
 - 4) Pelepasan energi dalam bentuk panas yang berakibat pecahnya gelembung gas
- b. Efek tidak langsung/non mekanik

Dimulai dengan adanya perubahan yang terjadi pada permukaan gelembung gas yang bersinggungan langsung dalam jaringan darah atau dalam jaringan tubuh lainnya. Pada permukaan kedua bidang yang bersinggungan terbentuk lapisan lipoprotein yang membatasi pertumbuhan gelembung gas yang lebih lanjut. Lapisan protein ini mengalami perubahan/desaturasi sehingga lapisan tipis tersebut menjadi kuat, selanjutnya pada permukaan ini timbul suatu gaya elektrokinetik sebesar 40-100 amstrong, yang mempunyai kecenderungan untuk mengubah struktur lapisan protein tersebut. Perubahan struktur protein mengakibatkan perubahan fungsi menjadi leofobik, yang mengakibatkan peningkatan penggerombolan sel-sel tubuh. Aktivitas perubahan dari gelembung gas ini menyebabkan penggerombolan trombosit dan penggumpalan butir darah merah. Perubahan protein pada permukaan gas dan darah juga merangsang suatu

aktifitas permukaan dari gelembung gas tersebut selanjutnya terjadi dalam dua jalur reaksi yaitu pengaktifan faktor ligamen dan pengaktifan faktor trombosit.

Menurut beberapa penulis, akibat tidak langsung atau perubahan sekunder ini mirip suatu reaksi inflamasi akut. Iktisar tentang proses inflamasi akut terutama bagian atau komponen dari proses inflamasi yang relevan pada interaksi permukaan gelembung gas dengan darah dan jaringan tubuh pada penyakit dekompresi:

- 1) Aktifitas penggumpalan trombosit (platelet agregasi) sampai proses pembekuan reologuan dan koagulasi darah dalam pembuluh darah setempat.
- 2) Penggumpalan butir darah merah karena perubahan reologi dan peningkatan viskositas.
- 3) Homo konsentrasi dan hipivolemia oleh karena permiabilitas dan perubahan reologi serta meningkatnya zat vasoaktif
- 4) Hadirnya mediator dan zat vaksodiaktif seperti histamin, serotonin dan bradikinin serta prostaglandin dalam proses inflamasi yang terjadi akibat adanya gelembung ga dalam darah dan jaringan tubuh tersebut.

2.3.10 Pengendalian

Pengendalian yang dapat dilakukan ketika seseorang melakukan sebuah penyelaman menurut U.S Navy adalah sebagai berikut:

- a. Pengendalian dalam keadaan darurat

Keadaan darurat selalu dimungkinkan terjadi pada setiap penyelaman, betapapun sempurnanya persiapan untuk itu telah dilakukan. Cukup banyak variabel yang dapat diidentifikasi sebagai faktor penyebabnya. Kondisi penyelaman, panik, cuaca, kedalaman, kerusakan peralatan dan seterusnya. Keadaan ini bila tidak segera ditanggulangi secara tepat dan cepat sangat potensial menjadi penyebab terjadinya kecelakaan penyelaman. Ironisnya sebagian besar kecelakaan penyelaman justru terjadi pada saat seorang penyelam sudah mulai merasa berpengalaman, merasa cukup mampu menangani masalah penyelaman. Suatu keadaan yang cenderung membuat orang menjadi lengah dan ceroboh.

Kelengahan dan kecerobohan di sini mencakup fisik maupun mental. Kelengahan mental menyebabkan “human error”, atau kekhilafan manusiawi yang bila dihadapkan pada kondisi rawan dapat berakibat fatal. Human error/kekhilafan manusiawi, itulah sebab utama terjadinya kecelakaan penyelaman. Karena itu tetap relevan untuk dianjurkan agar para penyelam senantiasa bersedia melatih diri, mempersiapkan diri, briefing, de-briefing, dive planning, check dan re-check peralatan sebelum menyelam, mempelajari kembali prosedur-prosedur baku dalam penyelaman dan sebagainya. Filosofinya, lebih baik belajar mengenali dan menghindari bahaya sebelumnya daripada mengatasi bahaya setelah terjadi, karena hasilnya sangat spekulatif.

b. Pengendalian dalam keadaan tanpa udara

Dari sekian banyak keadaan darurat yang dapat terjadi setiap kali menyelam, situasi “tanpa udara” merupakan hal yang paling riskan penanggulangannya. Bertahun-tahun orang memperdebatkan jalan atau cara apa yang terbaik untuk dilakukan jika menghadapi keadaan “kehabisan udara”. Pada kenyataannya, tidak ada satu carapun yang dapat disepakati sebagai cara yang memuaskan dan memberikan jaminan keselamatan bagi pelakunya. Persatuan Olah raga Selam Seluruh Indonesia, menawarkan beberapa cara atau prosedur yang dianggap “layak” untuk mengatasi keadaan darurat tersebut. Cara menghadapi keadaan darurat dapat dibedakan dalam 2 kategori, yaitu :

1) Dengan bantuan

Menghadapi keadaan darurat penyelaman dengan bantuan dibagi menjadi 2 ialah:

a) *Octopus Assisted Ascent (OAA)*

OAA dapat dilakukan dalam hal seorang penyelam memberikan bantuan udara kepada mitranya yang kehabisan udara, melalui “*extra second stage*” yang lazim disebut “*octopus*”. Cara ini relatif aman dan mudah pelaksanaannya karena masing-masing penyelam bernapas melalui sebuah “*second stage*” tersendiri.

b) *Buddy Breathing (BB)*

Dilakukan dengan cara bergantian bernapas melalui satu “*Second Stage*” dari satu regulator dari si penolong (Donor). Hendaknya terus menerus dilakukan

sambil naik ke permukaan secara terkendali, karena itu BB sering juga disebut *buddy breathing ascent* (BBA).

2) Dengan “Berdikari”

Cara menghadapi keadaan darurat yang terjadi dalam penyelaman, khususnya kehabisan udara, mungkin harus dilakukan sendiri oleh si penderita, dalam hal tidak ada lagi mitra yang bisa dimintai bantuan.

Ada dua macam cara “berdikari” yang bisa dilakukan yaitu :

a) *Emergency Swimming Ascent (ESA)*

Emergency Swimming Ascent (ESA) adalah cara menghadapi keadaan darurat secara berdikari yang terpenting, dimana si penyelam yang kehabisan udara berenang ke permukaan secara terkendali sambil terus menerus menghembuskan udara keluar, untuk menjaga agar tidak terjadi pengembangan paru-paru yang berlebihan.

b) *Buoyancy Ascent (BA)*

Adalah prosedur “Berdikari” pilihan terakhir. Dilakukan dengan cara membuang weight belt dan menggunakan daya apung positif yang diperoleh dengan mengembangkan BC di kedalaman. *Buoyancy ascent* dipraktikkan jika penyelam serius meragukan bahwa ia tidak mungkin dapat mencapai permukaan dengan berenang. *Buoyancy ascent* dari kedalaman sangat berbahaya karena ada kemungkinan gerak laju ke permukaan menjadi tidak terkendali. *Buoyancy ascent* ini sering disebut pula *emergency / exhaling buoyancy ascent*.

Apabila menghadapi keadaan darurat dalam arti kehabisan udara, cobalah mengikuti prosedur di bawah ini melalui urutan teratas yaitu :

- Berhenti dan berpikir. Hentikan manuver dan berpikir secara wajar tentang situasi yang sedang penyelam alami;
- Hembuskan udara lambat-lambat (kalau masih ada) dan perhatikan SGP
- Jika SGP masih menunjukkan :
 - adanya tekanan udara, maka tekanlah tombol kurus;
 - tidak ada tekanan udara, cek katup tabung, mungkin tombol katup masih dalam posisi “off” yang biasanya terjadi pada awal penyelaman.

- Usahakan untuk menarik napas lagi kalau masih ada hantaran udara, beri isyarat pada mitra dan jelaskan keadaannya. Bila tekanan udara pada posisi cadangan, hentikan penyelaman dan naik saja ke permukaan.
- Bila tidak ada hantaran udara, mintalah mitra untuk melakukan OAA / BB. Bila mitra telah jauh, pilih *manuver ESA/EBA* (sebagai alternatif terakhir).
- Bila mitra tidak bisa diajak komunikasi dan tidak mengerti situasi yang dihadapi, maka lakukanlah ESA/EBA sebagai alternatif terakhir.

Latihan naik ke permukaan dalam keadaan darurat (apapun teknik / prosedurnya) merupakan bagian vital dalam pendidikan dan pelatihan selam, demi menghasilkan penyelam yang kompeten. Khusus tentang ESA perhatikanlah beberapa prinsip di bawah ini :

1. Buang *weight belt* untuk memperoleh / meningkatkan daya apung penyelam.
2. jika sedang melaju ke permukaan dengan menggunakan upaya renang kendali.
3. Hembuskan udara keluar selagi melaju ke permukaan (karena menarik napas juga tidak dimungkinkan).

c. Lingkungan Penyelaman

1) *Dive Planning*

Sebelum penyelaman dimulai, penyelam bisa menentukan siapa diantara Buddy yang menjadi petunjuk jalan, kemana arah yang dituju, kedalaman berapa yang akan dicapai serta dimana exit yang direncanakan. Hal ini sangat perlu karena akan dapat diketahui berapa waktu yang aman untuk kegiatan penyelaman.

2) Mengenali medan penyelaman

Bagaimanapun juga (perencanaan penyelaman) dan latihan yang betul membantu penyelaman menjadi aman, tidak peduli apakah penyelaman ini dilakukan di laut, di danau besar/kecil, sungai, lubang galian (*quarries*), daerah karang, dermaga, *oil rig's* di laut. Jika penyelam berada di daerah yang asing, sebaiknya berkonsultasi dengan penduduk setempat. Mereka biasanya akan dengan senang hati memberikan keterangan tentang lokasi penyelaman yang menarik serta tentang hal-hal yang mungkin harus penyelam hadapi.

3) Penyelaman dari pantai

Jika memungkinkan periksa dahulu daerah-daerah penyelaman dari suatu ketinggian. Penyelam dapat mengamati kondisi air, menentukan daerah *entry dan exit* yang baik dan aman. Persiapkan alat sebaik mungkin karena bisa jadi penyelam harus melewati jalan setapak. Jika jarak *diving area* yang dituju dekat, penyelam bisa memakai pakaian separuh lengkap dan mengangkat peralatan selam sekali jalan.

4) Ombak dan Gelombang

Jika penyelaman hendak dilakukan di laut yang mempunyai dasar berpasir dan bergelombang, maka hal pertama yang dapat dilakukan adalah mengamati tinggi gelombang dan frekuensi (kekerapan ombak besar). Gelombang besar sangat berbahaya dan membuat jarak pandang / Visibilitas sangat kurang. Jangan sekali-kali mencoba menyelam pada saat gelombang besar.

5) Rangkaian Gelombang

Ombak yang ditimbulkan di daerah yang berbeda letaknya dapat bertemu dan membentuk satu alun yang besar dan menghasilkan gelombang lebih besar. Inilah perlunya mengamati rangkaian ombak. Rangkaian ini dapat terdiri dari pasangan tiga atau empat ombak normal dan kemudian disusul oleh satu ombak yang lebih besar. Memilih waktu yang tepat adalah unsur terpenting dalam upaya *Entry Undertow* (Arus bawah). Aliran air kembali ke laut akibat gelombang yang memecah di pantai dinamakan *Undertow* dapat dengan mudah menjatuhkan seorang penyelam yang berperlengkapan berat. *Undertow* ini mengalir kembali ke laut dengan jarak pendek dan melalui bawah gelombang yang sedang menuju ke pantai. Dengan sendirinya pantai yang agak curam mempunyai aliran *Undertow* lebih besar. *Foot Pocket Fins* dengan mudah dapat terlepas di dalam *Undertow* jika penyelam berdiri lama di garis gelombang (*Surf line*). Gunakanlah *Heel Strap Retainer* (Ikat Tumit Khusus) untuk mencegah *Fins* jenis ini terlepas.

6) Medan Berbatu

Daerah berbatu-batu (*Rock Areas*), biasanya merupakan daerah penyelaman yang lebih mempesona dan beragam panorama keindahannya. Namun perlu diperhatikan beberapa langkah pengamanannya. Perhatikanlah

terutama jalan setapak yang biasanya hanya selebar jalan tikus, apalagi penyelam sedang menggondong peralatan selam melalui daerah ini. Batu-batu yang terdapat di pinggir garis air, biasanya akan licin karena tumbuhan lumut, renik-renik kerang yang tajam dan algae. Pelindung kaki harus dipergunakan dan *Entry* dari daerah batu-batuan, boots yang baik akan melindungi kaki penyelam.

d. Pengendalian APD

Penggunaan APD salah satu cara untuk mencegah terjadinya penyakit dekompresi, Berikut merupakan jenis APD yang perlu digunakan pada pekerjaan yang berhubungan dengan penyelaman scuba (U.S Navy vol 2 chapter 7,2016:30), yaitu:

1) Masker

Masker penyelam merupakan alat yang digunakan untuk membantu melihat dengan jelas di dalam air dan melindungi mata dari iritasi. Masker memberikan suatu rongga udara diantara mata dan air, ketika menyelam, masker akan mengalami tekanan hidrostatis. Oleh karena itu pada saat keadaan seperti ini haruslah diequalisasikan, dengan cara udara dihembuskan ke dalam masker melalui hidung. Hal ini yang menyebabkan hidung harus diikuti sertakan kedalam masker dan dengan alasan ini mengapa *googles* perenang tidak dapat dipakai untuk menyelam. Disamping kegunaan masker, terdapat pula efek yang ditimbulkan yaitu kombinasi sudut bias dan indeks bias antara air, jarak kaca dan udara dalam rongga masker akan menyebabkan benda-benda kelihatan lebih besar dan lebih dekat. Adapun syarat-syarat sebuah masker penyelam yang baik yaitu:

- a) *Safety glass* : Kaca harus terbuat dari bahan kaca *tempered*, bukan dari plastic yang mudah tergores. Kaca/lensa harus terpasang kokoh pada tempatnya.
- b) Volume Kecil : Dengan volume sekecil mungkin akan memudahkan pada saat equalizing ataupun mask clearing.
- c) Penglihatan Luas : Kaca yang digunakan luas/lebar dan jaraknya sedekat mungkin dengan mata
- d) Nose Pocket : Sangat diperlukan ketika proses equalisasi

2) *Snorkel*

Snorkel adalah sebuah pipa untuk bernapas yang sederhana, dimana akan berguna untuk skin diving atau beristirahat di permukaan air. *Snorkel* membuat seorang penyelam bebas mengamati keadaan dibawah air secara terus menerus tanpa harus menegakkan kepalanya keluar dari air pada saat berada di permukaan.

3) *Fins*

Tujuan utama memakai *fins* adalah memudahkan jelajah dan mendapat daya dorong untuk bergerak maju dan konstan. *Fins* menambah efisiensi serta mobilitas penyelam di dalam air serta menambah laju pergerakan dengan usaha seminimal mungkin. Hal ini akan membuat taangan penyelam bebas melakukan aktifitas lainnya daripada dipergunakan untuk berenang.

4) Tabung *SCUBA (Self Contained Underwater Breathing Apparatus)*

Banyak yang mengatakan bentuk tabung ini mirip sebuah silinder bom, ditambah lagi dengan berisikan tekanan udara tinggi. Tabung scuba dirancang sedemikian rupa sehingga beratnya dapat mengkompensasi daya apung di dalam air, sedangkan ketebalan dindingnya pun tidak terlalu tebal. Materialnya ada yang terbuat dari bahan baja *chrome molybdenum* agar mampu menahan tekanan tinggi. Tetapi ada juga yang terbuat dari aluminium, tabung yang terbuat dari aluminium umumnya lebih disukai dibandingkan dengan yang terbuat dari baja. Tabung selam yang lengkap akan terdiri dari katup udara (*valve*), penyangga punggung (*back pack*) dan sepatu tabung (*tank boots*). Biasanya unit tabung scuba ada yang terdiri dari satu (*single*) tabung, dua (*double*) tabung dan tiga tabung (*triple*).

5) Regulator

Peralatan pengatur ini bekerja untuk menyalurkan udara bertekanan tinggi dengan mengurangi tekanannya secara otomatis agar dapat mensuplay kebutuhan udara bagi penyelam. Ketika penyelam menarik napas, udara akan mengalir, disaat menghembuskan, pengatur akan berhenti pula, persis layaknya sebuah organ napas pada manusia. Regulator terbagi dua macam kategori yaitu selang tunggal (*single hose*) dan selang ganda (*double hose*) dimana pengurangan tekanan terjadi dua kali yaitu melalui bagian interkoneksi dan selang tekanan menengah.

6) Tolak Ukur Tekanan dan Kedalaman

Setiap penyelam wajib memeriksa tekanan udara yang ada di dalam tabung selamnya sebelum melakukan aktifitasnya. Semua tolak ukur yang ada sekarang dirancang untuk mudah dioperasikan saat berada di dalam air. Peralatan tolak ukur tersebut harus memiliki sifat anti air (*waterproof*). Disarankan untuk menggunakan tolak ukur tekanan yang memiliki akurasi tinggi dan bekerja dengan baik dan sempurna

7) *Bouyancy Compensator Divice* (BCD)

Penyelam harus mengatur daya apung dirinya termasuk dengan sabuk pemberat hingga mencapai daya apung netral (*netral buoyancy*) agar dapat bergerak dengan nyaman di air. Sekarang, penyelam akan lebih mudah mengatur daya netral di berbagai kedalaman, tinggal mengisi dan membuang udara yang dibutuhkan melalui unit pengatur (*power inflator*) yang tersambung dengan regulator. Peralatan ini sangat diperlukan bagi penyelam pemula maupun yang berpengalaman. Banyak kecelakaan penyelaman disebabkan karena tidak memakai pelampung selam. Sebab itu, disarankan semua penyelam siapapun dia untuk wajib menggunakan pelampung selam atau BC. Kegunaan pelampung BCD untuk mengatur daya apung penyelam saat berada di dalam air. Kegunaan lain dari pelampung BCD ini yaitu untuk melakukan istirahat dipermukaan, terutama pada saat kasus-kasus keadaan darurat terjadi. Dibutuhkan latihan yang rutin untuk mampu menggunakan BCD dengan baik dan benar. kecerobohan atau ketidak hati-hatian dalam penggunaan BCD sangat berbahaya dan dapat menyebabkan kecelakaan pada paru-paru karena tidak bisa mengatur jumlah udara yang masuk kedalam BC tersebut.

8) *Underwater Watch*/Jam Tangan Selam

Jam selam dibutuhkan untuk menentukan serta menghitung waktu ketika berada di bawah air. Selain itu, untuk menghindari agar tidak terkena penyakit tekanan (*decompression sickness*). Berbagai macam tipe jam tangan selam, ada yang dilengkapi dengan bezel untuk memudahkan untuk menghitung waktu dibawah air.

9) Sarung Tangan

Setiap penyelaman harus menggunakan sarung tangan. Hal ini menyebabkan penyelam harus berlatih dan mampu menangani masalah perlengkapan selam selagi memakai sarung tangan.

10) Navigasi

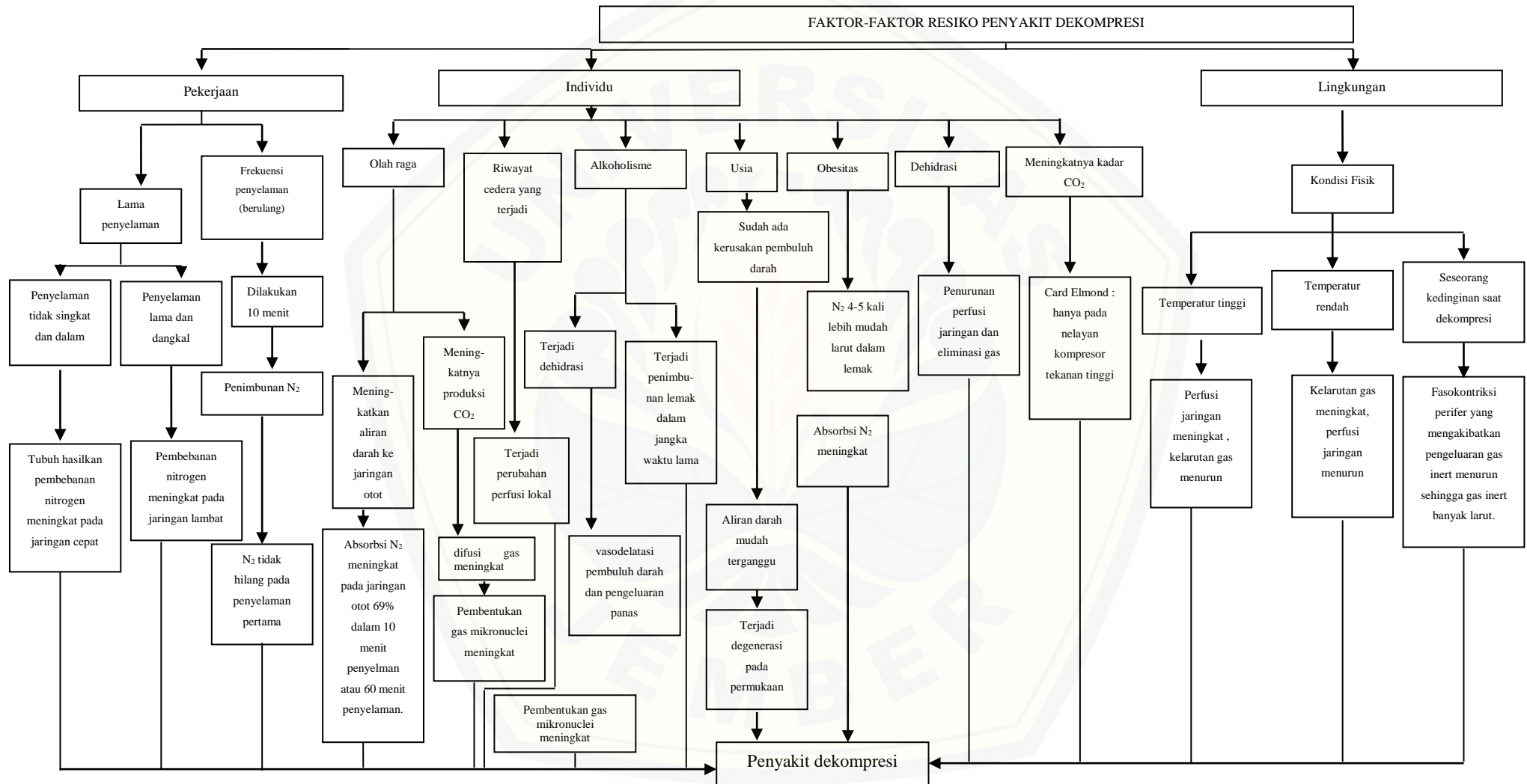
Jika menggunakan kompas sebaiknya penyelam menyusuri dasar dan terus menuju ke kedalaman. Menyusuri dasar yang landai untuk memudahkan usaha Equalizing, dibandingkan menukik turun ke kedalaman dengan mengalami perubahan tekanan air dengan cepat. Mengendalikan arah di bawah air adalah hal yang amat penting, kompas digunakan untuk menentukan arah dari dan ke pantai, sehingga menghindari setiap kali muncul ke permukaan air untuk mengecek arah. Letakkan kompas di muka penyelam sedatar mungkin jika mengecek arah. Jarum kompas datar dipengaruhi oleh kumpulan logam, maka jangan menggunakan kompas terlalu dekat dengan tabung buddy. Jarak kompas tidak terpengaruh oleh logam adalah minimum 2-3 feet. Deviasi (kesalahan) kompas dapat terjadi, hal ini tergantung dari kekuatan magnetis dari jarum kompas itu sendiri. Tabung Scuba yang terbuat dari aluminium tidak mempengaruhi kompas. Ada 3 jenis kompas yang digunakan untuk navigasi :

- a) Dome Type merupakan kompas yang penunjuk arahnya menghadap terdekat kepada penyelam.
- b) Flat atau Horizontal Type adalah kompas yang mempunyai jarum petunjuk arah utara, dibaca melintasi muka kompas dan juga dilengkapi dengan "garis bidik lurus" untuk mengendalikan arah dengan cara mempertahankan jarum kompas tetap menunjukkan pada arah kompas yang dituju.
- c) Jenis ini merupakan kompas yang paling efisien untuk navigasi karena dilengkapi dengan lingkaran tepi yang dapat diputar. Lingkaran ini diberi tanda dan tanda ini dapat disetel hingga ditempatkan di atas jarum kompas sebagai pengendali arah. Setiap saat arah penyelaman dapat dicek dengan kompas jenis ini. Dengan memutar lingkaran tepi kompas atau membalik arah penyelaman 180° , penyelam dapat berenang kembali pada starting

point semula. Sudut tubuh merupakan faktor terpenting. Penyelam dapat berenang selurus mungkin jika menggunakan kompas yang dipakai di pergelangan tangan. Selain dengan kompas navigasi dapat dilakukan dengan melihat bentuk dasar laut.

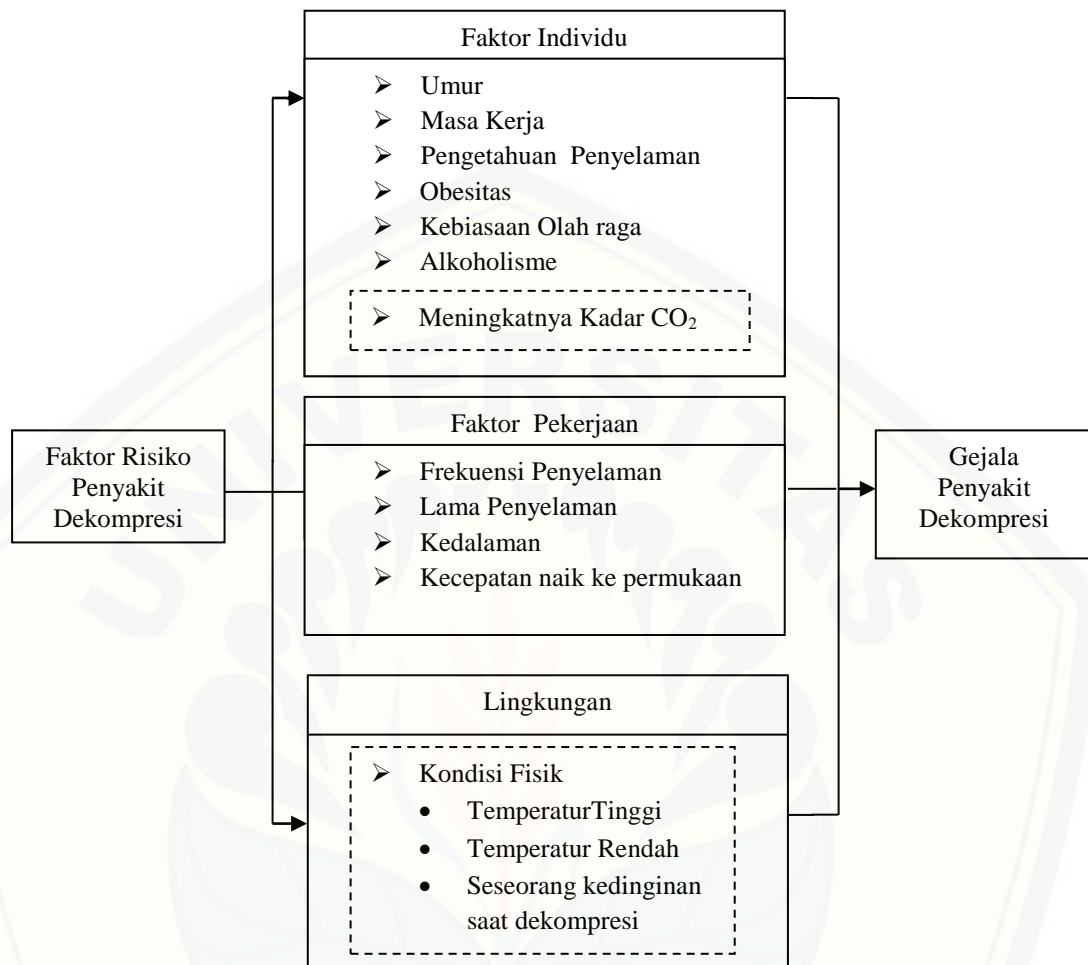


2.4 Kerangka Teori



Gambar 2.2 Kerangka Teori

2.5 Kerangka Konsep



Gambar 2.3 Kerangka Konsep

----- : Variabel yang tidak diteliti
 _____ : Variabel yang diteliti

Penjelasan Kerangka Konsep

Salah satu penyakit akibat kerja adalah penyakit dekompresi. Edmonds *et al.* (2015:150) menyatakan penyakit dekompresi adalah penyakit yang terjadi pada penyelam dan penambang saat kembali dari lingkungan bertekanan udara tinggi ke tekanan udara normal disebabkan terbentuknya formasi gelembung gas

pada darah dan cairan tubuh dengan berbagai tingkat keluhan dan gejala, yang dapat mengenai seluruh sistem organ tubuh dengan penyebab yang sama yaitu terbentuknya gelembung N_2 dalam jaringan dan darah. Beberapa faktor penyebab penyakit dekompresi antara lain adalah faktor individu (umur, masa kerja, pendidikan, pengetahuan penyelaman, frekuensi penyelaman dan lama penyelaman), faktor pekerjaan (Frekuensi Penyelaman dan Lama Selam). Variabel-variabel tersebut akan dianalisis sesuai dengan tujuan peneliti, sehingga dari penelitian ini akan didapatkan hasil yang dapat menunjukkan faktor risiko gejala penyakit dekompresi.

2.6 Hipotesis

Hipotesis adalah pernyataan yang diterima secara sementara sebagai suatu kebenaran, sebagaimana adanya saat fenomena dikenal dan merupakan dasar kerja serta panduan dalam verifikasi (Nazir, 2013: 151). Berdasarkan kerangka konseptual dalam penelitian ini maka hipotesis yang dapat diuji adalah:

- a. Terdapat hubungan antara faktor individu (umur, masa kerja, pendidikan, pengetahuan penyelaman, obesitas, olahraga dan alkoholisme) dengan terjadinya gejala penyakit dekompresi pada nelayan yang menggunakan kompresor konvensional.
- b. Terdapat hubungan antara faktor pekerjaan (frekuensi penyelaman, lama penyelaman, kedalaman dan kecepatan naik ke permukaan) dengan terjadinya gejala penyakit dekompresi pada nelayan yang menggunakan kompresor konvensional.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian analitik observational dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian analitik adalah penelitian yang bertujuan untuk menguji hipotesis dan mengadakan interpretasi yang lebih dalam, tentang hubungan-hubungan variabel bebas dengan variabel terikat. Data yang dikumpulkan selanjutnya diolah dan disajikan untuk diinterpretasikan sesuai dengan tujuan penelitian (Notoatmodjo, 2012 : 145).

Penelitian ini menggunakan design penelitian *cross sectional*. *Cross Sectional* merupakan suatu penelitian yang bertujuan mencari hubungan dimana variabel independen dan dependen dinilai secara simultan pada suatu saat (Notoatmodjo, 2012:146). Pada penelitian ini, peneliti meneliti variabel bebas (umur, masa kerja, pengetahuan penyelaman, obesitas, olahraga, kebiasaan mengkonsumsi alkohol, frekuensi penyelaman, lama penyelaman, kedalaman dan kecepatan naik ke permukaan) dan terikat (gejala penyakit dekompresi) secara bersamaan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Kelompok Nelayan “Samudra Bakti” di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi. Kelompok Nelayan “Samudra Bakti” dipilih sebagai tempat penelitian karena merupakan satu-satunya tempat pengepulan ikan hias yang para nelayannya menggunakan kompresor konvensional yang beroperasi di Kabupaten Banyuwangi.

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan 21 Februari-selesai. Kegiatan ini dimulai dengan persiapan penelitian yaitu observasi awal, menyusun proposal,

pelaksanaan kegiatan, analisis hasil penelitian, penyusunan laporan sampai hasil dapat diseminarkan.

3.3 Populasi, Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel

3.3.1 Populasi

Populasi merupakan sejumlah besar subjek yang mempunyai kualitas karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti (Sastroasmoro, 2011:43). Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh nelayan yang menggunakan kompresor konvensional pada Kelompok Nelayan “Samudra Bakti” di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi sejumlah 44 orang.

3.3.2 Sampel

Sampel adalah bagian dari populasi yang dipilih dengan cara tertentu hingga dianggap dapat mewakili populasi tersebut (Sugiyono, 2012:62). Untuk menentukan jumlah sampel pekerja yang diperlukan untuk penelitian ini dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 p(1-p)N}{d^2(N-1) + Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 p(1-p)}$$

Keterangan :

- p = nilai proporsi sebesar 0,5
- $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ = nilai Z pada kurva normal untuk $\alpha = 0,05 = 1,96$
- N = besarnya populasi kelompok nelayan samudra bakti (N=44 pekerja)
- n = besarnya sampel
- d = *degree of precision* / derajat keputusan = 0,1
- z = *confidence coefficient* 95% (z=1,96)

Hasil perhitungan:

$$n = \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 P(1-p)N}{d^2(N-1) + Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 p(1-p)}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{(1,96)^2 \times 0,5 \times 0,5 \times 44}{(0,1)^2 (44-1) + (1,96)^2 \times 0,5 \times 0,5} \\
 n &= \frac{42,2576}{0,43+0.9604} \\
 &= \frac{42,2576}{1,3904} \\
 &= 30,3924051 \approx 31
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan sampel di atas, total besar sampel yang diteliti adalah 31 orang nelayan pencari ikan hias laut yang berada di Kelompok Nelayan “Samudra Bakti” di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi. Kriteria inklusi dan eksklusi yang ditetapkan oleh peneliti dalam sampel penelitian, diantaranya sebagai berikut :

a. Kriteria Inklusi

Kriteria inklusi adalah karakteristik umum subyek penelitian dari suatu populasi terjangkau yang akan diteliti (Notoatmodjo, 2010:130). Kriteria inklusi pada penelitian ini adalah:

1. Penyelam yang menggunakan kompresor konvensional untuk penyelaman

b. Kriteria eksklusi

Kriteria eksklusi adalah menghilangkan atau mengeluarkan subjek yang tidak memenuhi kriteria inklusi dari studi karena berbagai sebab (Notoatmodjo, 2010:130).

Kriteria eksklusi pada penelitian ini adalah:

1. Menderita nyeri otot / sendi, gatal-gatal dengan kulit kemerahan, lumpuh, tuli dan buta
2. Menolak mengikuti penelitian

3.3.3 Teknik Pengambilan Sampel

Teknik Pengambilan Sampel dalam penelitian ini dengan menggunakan sampel acak sederhana (*simple random sampling*). Ciri utama dari sampling acakan atau *random sampling* adalah bahwa setiap unsur dari keseluruhan

populasi (kelompok sampel) mempunyai kesempatan yang sama untuk dipilih. Cara pelaksanaan pengambilan sampel acak sederhana dapat dilakukan dengan cara undian yaitu (1) dibuat daftar semua unit sampel, disusun dan diberi nomor secara berurutan, (2) semua unit sampel ditulis pada gulungan kertas dengan bentuk dan ukuran serta warna yang sama kemudian dimasukkan ke dalam kotak dan diaduk, (3) gulungan kertas diambil sesuai dengan jumlah sampel yang diinginkan kemudian dicocokkan dengan nomor urut daftar unit sampel (Arikunto, 2010:180).

3.4 Variabel dan Definisi Operasional

3.4.1 Variabel Penelitian

Variabel merupakan sesuatu yang digunakan sebagai ciri, sifat, atau ukuran yang dimiliki oleh anggota-anggota suatu kelompok yang berbeda dengan yang dimiliki oleh kelompok yang lain (Notoatmodjo, 2010). Adapun Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Variabel bebas (*independent variabel*)

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau sebab dari variabel terikat (Notoatmodjo, 2010). Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas yaitu faktor individu (umur, masa kerja, pengetahuan penyelaman, obesitas, kebiasaan olahraga dan alkoholisme) dan faktor pekerjaan (frekuensi penyelaman dan lama penyelaman).

b. Variabel terikat (*dependent variabel*)

Variabel terikat adalah variabel yang tergantung atas variabel lain. (Notoatmodjo, 2010) Variabel terikat adalah gejala penyakit dekompresi.

3.4.2 Definisi Operasional

Definisi operasional merupakan pemberian definisi terhadap suatu variabel penelitian secara operasional sehingga peneliti mampu melakukan pengumpulan informasi yang dibutuhkan untuk melakukan analisis pada penelitian yang dilaksanakan (Notoatmodjo, 2010:112). Pemberian definisi operasional yang tepat

pada suatu penelitian akan membantu peneliti dalam menentukan kesesuaian variabel yang diperlukan di dalam penelitian.

Tabel 3.1 Definisi Operasional, Cara Pengumpulan Data, Skala dan Cara Pengukuran

Variabel yang diteliti (A)	Definisi operasional (B)	Metode (C)	Kategori penilaian dan pengukuran (D)	Skala data (E)
Variabel Terikat				
Gejala Penyakit Dekompresi	Gejala yang timbul setelah melakukan penyelaman (maksimal 48 jam setelah melakukan penyelaman). Gejala penyakit dekompresi adalah sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Nyeri sendi/otot (nyeri lokal) • Gatal dan kemerahan kulit • Kesemutan • Anggota tubuh lemah s/d lumpuh • Pendengaran berkurang • Mual dan muntah / pingsan • Sakit pinggang • Kejang 	Observasi dan Wawancara	0. Tidak mengalami penyakit dekompresi (jika responden tidak mengalami satupun gejala-gejala penyakit dekompresi) 1. Mengalami penyakit dekompresi (minimal satu atau lebih terkait gejala penyakit dekompresi) (Dean et al, 2016)	Ordinal
Variabel Bebas				
Umur	Lama hidup responden saat dilakukan wawancara, terhitung dari ulang tahun terakhir	wawancara	Klasifikasi umur: <ol style="list-style-type: none"> 1. Umur 12 – 24 tahun 2. Umur 25 – 40 tahun 3. Umur 41 – 65 tahun 4. Umur > 65 tahun (WHO, 2013) 	Ordinal
Masa kerja	Dihitung dari saat nelayan mulai menggunakan kompresor konvensional untuk penyelaman.	Wawancara	Pengelompokan dibagi menjadi 3 kategori: <ol style="list-style-type: none"> 0. < 1 tahun 1. 1-5 tahun 2. > 5 tahun 	Ordinal
Variabel yang diteliti				
Variabel yang diteliti (A)	Definisi operasional (B)	Metode (C)	Kategori penilaian dan pengukuran (D)	Skala data (E)
Pengetahuan penyelaman	Pengetahuan nelayan seputar kegiatan penyelaman, meliputi: Teknik penyelaman, pemeriksaan badan, sikap nahkoda/dive	Wawancara	Kategori pengetahuan penyelaman (10 pertanyaan) dibagi menjadi 2:	Ordinal

	master, pengetahuan tentang kecelakaan.		0. Buruk, bila nilai ≤ 5 1. Baik, bila nilai >5	
Obesitas	Suatu kondisi yang menggambarkan keadaan gizi dengan memperhitungkan indeks massa tubuh (IMT)	Timbangan berat badan dan Staturmeter	0. Tidak Obesitas (IMT $<25,0$) 1. Obesitas (IMT $\geq 25,0$) (Depkes RI 1994)	Ordinal
Olahraga	Salah satu aktivitas fisik maupun psikis seseorang yang berguna untuk menjaga dan meningkatkan kualitas kesehatan nelayan sebelum melakukan penyelaman	Observasi	Pengelompokan dibagi menjadi 2 kategori: 0. Ya 1. Tidak (Dean et al, 2016)	Nominal
Kebiasaan minum Alkohol	Gangguan yang ditandai oleh konsumsi berlebihan dan ketergantungan pada alkohol	Observasi dan Wawancara	Pengelompokan dibagi menjadi 2 kategori: 0. Tidak 1. Ya	Nominal
Frekuensi penyelaman	Banyaknya penyelaman yang dilakukan dalam satu hari	Observasi	Kategori frekuensi penyelaman perhari dibagi 2: 0. $< 2x$ perhari 1. $\geq 2x$ perhari (Dean et al, 2016)	Ordinal
Lama penyelaman	Lama penyelaman adalah waktu yang nelayan habiskan dalam satu kali selam dengan minimal kedalaman 10 meter	Stopwatch	Kategori lama menyelam /kali dibagi menjadi 3: 0. <30 menit 1. 30-59 menit 2. ≥ 60 menit (Dean et al, 2016)	Ordinal

Variabel yang diteliti (A)	Definisi operasional (B)	Metode (C)	Kategori penilaian dan pengukuran (D)	Skala data (E)
Kedalaman	Jarak yang ditempuh nelayan dari permukaan hingga kedalaman tertentu	Selang kompresor yang di beri	Dalam penelitian ini di ambil faktor risiko > 30 meter, dengan kategori	Ordinal

		tanda	kedalaman menyelam,	
		kemudian	yaitu :	
		diukur	0. < 10 meter	
		menggunakan	1. 10-20 meter	
		meteran	2. 20-30 meter	
			3. > 30 meter	
			(Dean et al, 2016)	
Kecepatan naik permukaan	Laju yang ditempuh nelayan saat sampai permukaan	Stopwatch	Faktor resiko adalah bila kecepatan naik < 18 / menit	Ordinal
			Kategori kecepatan naik permukaan dibagi menjadi 2, yaitu :	
			0. < 18 m/menit	
			1. \geq 18 m/menit	
			(Dean et al, 2016)	

3.5 Data dan Sumber Data Penelitian

Data adalah suatu bahan mentah yang jika diolah dengan baik melalui berbagai analisis dapat melahirkan berbagai informasi (Usman dan Akbar, 2006). Jenis data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder, yaitu :

1.5.1 Data Primer

Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung oleh peneliti dari sumber dokumen utama (Notoatmodjo, 2012). Data primer dalam penelitian ini adalah berupa informasi atau penjelasan dari hasil wawancara, observasi dan studi dokumentasi langsung pada nelayan yang menggunakan kompresor konvensional pada Kelompok Nelayan “Samudra Bakti” di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi terkait gejala penyakit dekompresi, faktor individu (umur, masa kerja, pengetahuan penyelaman, obesitas, kebiasaan olahraga dan alkoholisme), faktor pekerjaan (frekuensi penyelaman, lama penyelaman, kedalaman dan kecepatan naik ke permukaan).

3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang tersusun dalam bentuk data yang telah dikumpulkan dari data primer (Sugiyono, 2012). Menurut Bungin (2010), data dan sumber sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber kedua atau sumber sekunder dari data yang kita butuhkan. Data sekunder dalam penelitian ini adalah data jumlah pekerja pada Kelompok Nelayan “Samudra Bakti” di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi, buku cetak, buku elektronik, dan jurnal/artikel berisi teori yang relevan terhadap objek yang diteliti, serta hasil-hasil penelitian terdahulu.

3.6 Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

3.6.1 Teknik Pengumpulan Data

Dalam proses pengumpulan data, tiap responden dalam penelitian diberi *informed consent* sebagai persetujuan responden untuk dijadikan subjek penelitian. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya:

a. Wawancara

Wawancara adalah suatu metode yang dipergunakan untuk mengumpulkan data, dimana peneliti mendapatkan keterangan atau informasi secara lisan dari seseorang sasaran penelitian (responden), atau bercakap-cakap berhadapan muka dengan orang tersebut (Notoatmodjo, 2012). Jenis wawancara yang digunakan dalam pengumpulan data pada penelitian ini adalah wawancara terpimpin yang dilakukan berdasarkan pedoman-pedoman berupa kuesioner yang telah disiapkan sebelumnya, sehingga *interviewer* tinggal membacakan pertanyaan-pertanyaan kepada responden. Pertanyaan-pertanyaan dalam pedoman (kuesioner) tersebut disusun sedemikian rupa sehingga mencakup variabel-variabel yang berkaitan dengan hipotesisnya (Notoadmodjo, 2012).

Wawancara yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan wawancara langsung kepada responden untuk memperoleh data-data terkait gejala penyakit dekompresi, faktor individu (umur, masa kerja, pengetahuan penyelaman,

obesitas, kebiasaan olahraga dan alkoholisme), faktor pekerjaan (frekuensi penyelaman, lama penyelaman, kedalaman dan kecepatan naik ke permukaan).

b. Observasi

Observasi adalah suatu prosedur yang berencana, yang antara lain meliputi melihat dan mencatat jumlah dan taraf aktivitas tertentu yang ada hubungannya dengan masalah yang diteliti. Jadi di dalam melakukan observasi bukan hanya “mengunjungi”, “melihat”, atau “menonton” saja, tetapi disertai keaktifan jiwa atau perhatian khusus dan melakukan pencatatan-pencatatan (Notoatmodjo, 2005). Observasi dalam penelitian ini merupakan observasi langsung yang dilakukan untuk mengetahui terkait gejala penyakit dekompresi, faktor individu (umur, masa kerja, pengetahuan penyelaman, obesitas, kebiasaan olahraga dan alkoholisme), faktor pekerjaan (frekuensi penyelaman, lama penyelaman, kedalaman dan kecepatan naik ke permukaan).

3.6.2 Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen pengumpulan data adalah alat bantu yang digunakan peneliti untuk membantu peneliti memperoleh data yang dibutuhkan (Arikunto, 2010:265). Instrumen dalam penelitian ini yaitu:

a. Kuesioner

Kuesioner merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara memberi seperangkat pertanyaan atau pernyataan tertulis kepada responden untuk dijawabnya (Sugiyono, 2014:142). Kuesioner dalam penelitian ini berisi pernyataan penyakit dekompresi, faktor individu (umur, masa kerja, pengetahuan penyelaman, obesitas, kebiasaan olahraga dan alkoholisme) dan faktor pekerjaan (frekuensi penyelaman dan lama penyelaman).

b. Alat Ukur Untuk Menentukan Obesitas

Menurut Supriasa (2013:60) dalam mengukur status gizi menggunakan perhitungan Indeks Masa Tubuh (IMT) yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{IMT} = \frac{\text{Berat Badan (kg)}}{\text{Tinggi Badan (m)} \times \text{Tinggi Badan (m)}}$$

Menurut Ningtyas (2010), menyebutkan bahwa dalam pengukuran Berat Badan (BB) menggunakan *bathroomscale* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Jarum penunjuk berat badan harus menunjuk angka nol
2. Pakaian yang dikenakan diusahakan seminimal mungkin
3. Responden berdiri tegak diatas *bathroomscale* dan angka yang ditunjuk oleh jarum timbangan adalah nilai berat badan responden.

Pengukuran Tinggi Badan (TB) menggunakan *microtoise* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. *Microtoise* ditempelkan dengan paku pada dinding yang lurus datar setinggi 2 meter dari lantai yang datar. Angka pada *microtoise* sebelum digunakan harus menunjukkan angka nol.
2. Alas kaki dilepas. Responden harus berdiri tegak yaitu kaki lurus dengan tumit, pantat, punggung, dan kepala bagian belakang serta menempel pada dinding. Pandangan responden harus lurus ke depan.
3. *Microtoise* diturunkan sampai menyentuh bagian kepala atas, siku harus menempel pada dinding. Baca skala yang tertera pada *microtoise*. Angka yang muncul adalah nilai tinggi badan responden (Ningtyas, 2010).

c. Stopwatch

Digunakan untuk mencatat waktu dasar dan kecepatan naik ke permukaan dan lama penyelaman. Waktu dasar diukur pada saat penyelam memulai masuk ke dalam laut sampai penyelam naik ke permukaan. Kecepatan naik ke permukaan diukur pada saat penyelam memberi tanda dengan menggerak-gerakan selang sampai penyelam naik ke darat.

3.7 Teknik Pengolahan dan Analisis Data

3.7.1 Pengolahan Data

Seluruh data yang terkumpul baik data primer maupun data sekunder akan diolah melalui tahap-tahap sebagai berikut:

a. Mengkode data (*data coding*)

Sebelum dimasukkan ke komputer, setiap variabel yang telah diteliti diberi kode untuk memudahkan dalam proses pengolahan selanjutnya.

b. Menyunting data (*data edit*)

Data yang telah terkumpul diperiksa kelengkapannya terlebih dahulu, yaitu kelengkapan jawaban kuesioner, konsistensi atas jawaban dan kesalahan jawaban pada kuesioner. Data ini merupakan data input utama untuk penelitian ini.

c. Memasukkan data (*data entry*)

Setelah dilakukan penyuntingan data, kemudian memasukkan data dari hasil kuesioner yang sudah diberikan kode pada masing – masing variabel. Setelah itu dilakukan analisis data dengan memasukkan data-data tersebut dengan *software* statistik untuk dilakukan analisis univariat (untuk mengetahui gambaran secara umum) serta bivariat dan multivariat (untuk mengetahui variabel yang berhubungan).

d. Membersihkan data (*data cleaning*)

Tahap terakhir yaitu pengecekan kembali data yang telah dimasukkan untuk memastikan data tersebut tidak ada yang salah, sehingga dengan demikian data tersebut telah siap untuk dianalisis.

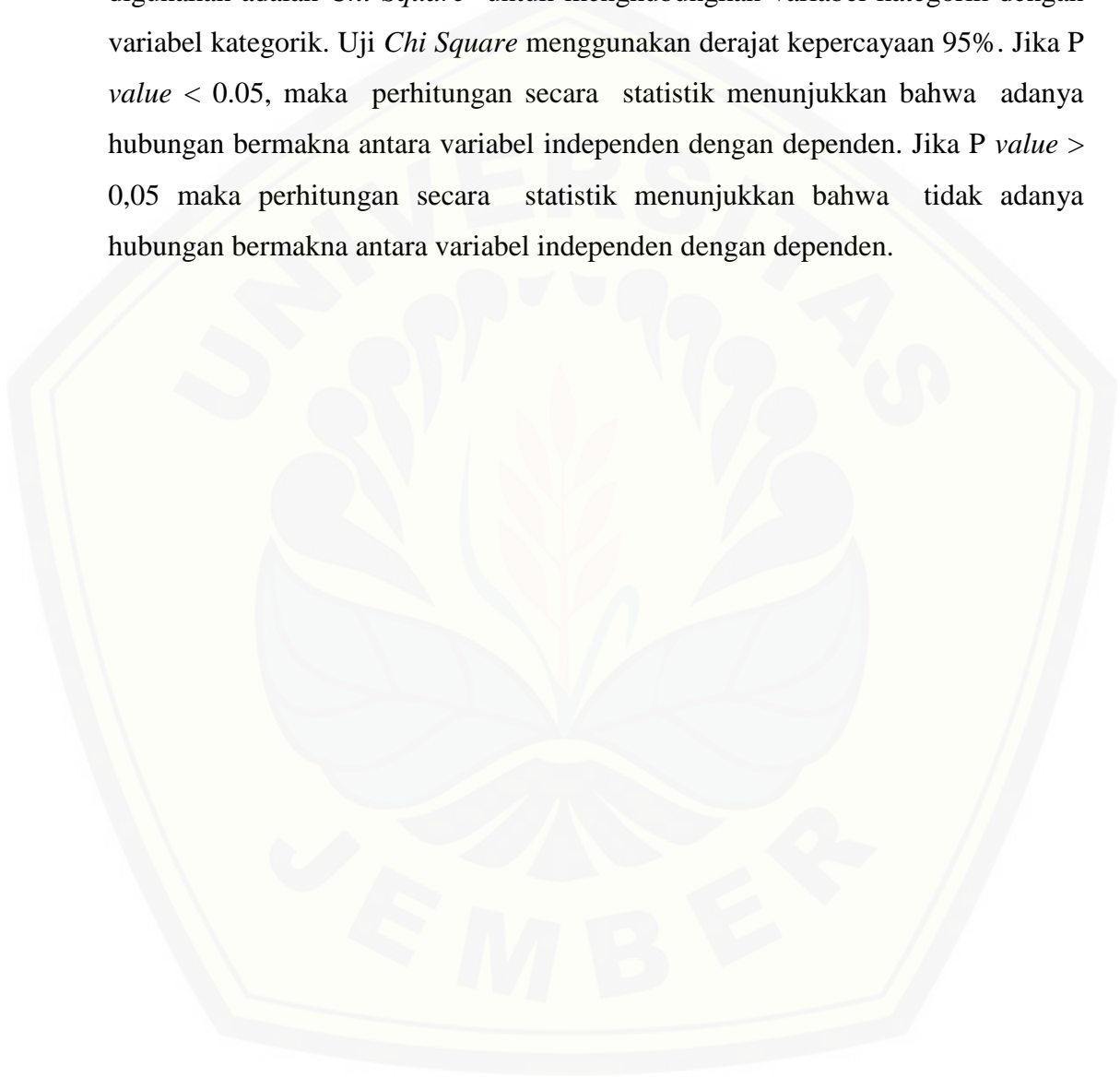
3.7.2 Analisis Data

a. Analisis Univariat

Analisis yang dilakukan untuk melihat distribusi frekuensi dan presentase dari setiap variabel dependen dan independen (Notoatmodjo, 2010: 115). Variabel tersebut adalah gejala penyakit dekompresi, karakteristik individu (umur, masa kerja, pendidikan, pengetahuan penyelaman), frekuensi penyelaman, lama selam.

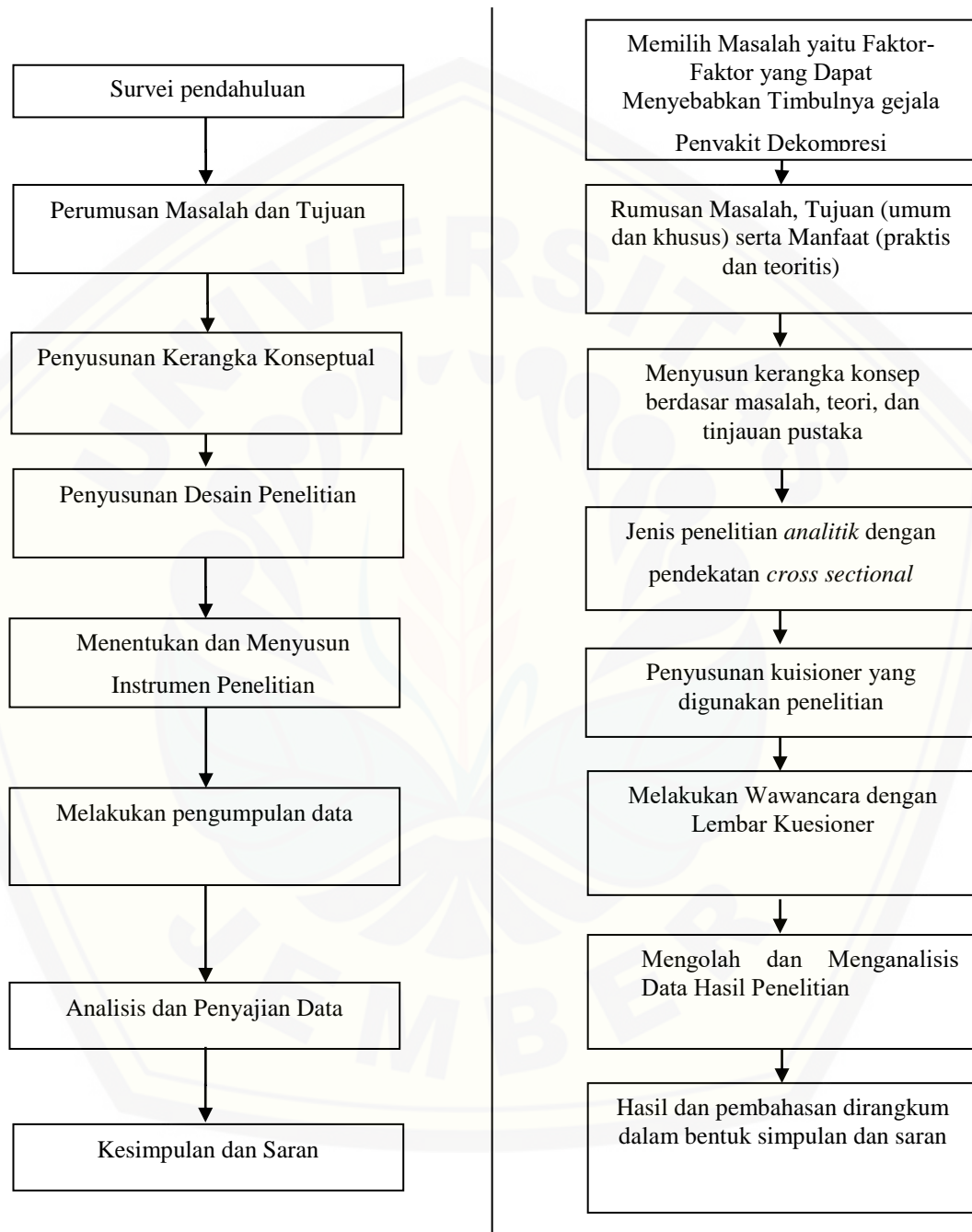
b. Analisis Bivariat

Analisis yang digunakan untuk mencari hubungan variabel bebas (independen) dan variabel terikat (dependen) dengan uji statistik yang sesuai dengan skala data yang ada (Notoatmodjo, 2010:183). Uji statistik yang digunakan adalah *Chi Square* untuk menghubungkan variabel kategorik dengan variabel kategorik. Uji *Chi Square* menggunakan derajat kepercayaan 95%. Jika *P value* < 0.05 , maka perhitungan secara statistik menunjukkan bahwa adanya hubungan bermakna antara variabel independen dengan dependen. Jika *P value* $> 0,05$ maka perhitungan secara statistik menunjukkan bahwa tidak adanya hubungan bermakna antara variabel independen dengan dependen.



3.8 Alur Penelitian

Alur penelitian disampaikan oleh peneliti agar diperoleh gambaran yang jelas terkait proses penelitian. Alur penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Alur

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan sebelumnya mengenai faktor risiko gejala penyakit dekompresi pada nelayan pencari ikan hias laut di kabupaten banyuwangi, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Pada faktor individu, mayoritas umur nelayan pencari ikan hias yang menggunakan kompresor konvensional adalah 25-40 tahun, masa kerja tertinggi 1-5 tahun, tergolong memiliki pengetahuan penyelaman yang baik, tidak obesitas, rata-rata melakukan kebiasaan olahraga sebelum melakukan penyelaman dan penyelam termasuk mengkonsumsi alkohol.
- b. Faktor pekerjaan, mayoritas frekuensi penyelaman nelayan kurang dari 2x, lama penyelaman berkisar 30-59 menit, dengan kedalaman 10-20 m dan kecepatan naik ke permukaan lebih dari sama dengan 18 per menit.
- c. Gejala penyakit dekompresi pada penyelam pencari ikan hias laut yang menggunakan kompresor konvensional pada Kelompok Nelayan “Samudra Bakti” di Dusun Krajan, Desa Bangsring, Kecamatan Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi sebanyak 51,6%, dari beberapa gejala yang ada, pegal linu dan kemerahan pada kulit merupakan gejala yang sering dirasakan.
- d. Pada faktor individu, tidak terdapat hubungan antara umur, masa kerja, pengetahuan penyelaman, obesitas, kebiasaan olahraga dan kebiasaan minum alkohol dengan terjadinya gejala penyakit dekompresi pada nelayan yang menggunakan kompresor.
- e. Faktor pekerjaan, tidak terdapat hubungan antara lama penyelaman dan kedalaman dengan terjadinya gejala penyakit dekompresi pada nelayan yang menggunakan kompresor, sementara frekuensi penyelaman dan kecepatan naik ke permukaan berhubungan dengan terjadinya gejala penyakit dekompresi pada nelayan yang menggunakan kompresor.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan maka saran mengenai hal-hal yang perlu dilakukan dalam penelitian adalah :

- a. Bagi nelayan pencari ikan hias laut
 1. Bagi penyelam yang sudah berusia lebih dari 40 tahun dan tergolong penyelam yang sering menyelam (≥ 2 kali/hari) sebaiknya mengurangi frekuensi menyelam.
 2. Penyelam sebaiknya mengikuti prosedur penyelaman yang benar dengan kecepatan naik ke permukaan sesuai dengan tabel dekompresi.
- b. Penelitian Selanjutnya
 1. Dapat dijadikan bahan bacaan untuk melanjutkan penelitian selanjutnya yang lebih mendalam mengenai faktor risiko gejala penyakit dekompresi pada nelayan pencari ikan hias laut di Kabupaten Banyuwangi.