

Hubungan Perbedaan Ketinggian dengan Perubahan Tekanan Darah pada Pelaku Perjalanan dari Dataran Rendah ke Dataran Tinggi dan dari Dataran Tinggi ke Dataran Rendah

Fernando P. Salipadang,¹ Vennetia R. Danes,² Maya E.W. Moningka²

¹Program Studi Pendidikan Dokter Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Manado, Indonesia

²Bagian Fisika Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Manado, Indonesia

Penulis Korespondensi: vennetiadan@yaho.com

Abstract: This study was aimed to determine whether the relationship between altitude differences and blood pressure changes among the travelers who traveled from low altitude to high altitude and vice versa. This study is an analytical observational with cross sectional design, involving 50 respondents who have met the inclusion criterias, divided into two groups who traveled from the city of Manado to Tomohon (low to high altitude area) and from the city of Tomohon to Manado (high to low altitude area) and then, the systolic and diastolic and blood pressure was measured in both treatment groups. Then statistical correlation test and hypothesis test of significance were analyzed with SPSS version 25. Based on the statistical correlation test (Pearson product and Kendall's Tau) and hypothesis test of significance (paired T-test and Wilcoxon test), the correlation coefficients and significances of hypothesis tests between the differences in altitude (Manado to Tomohon city and Tomohon to Manado city) and changes in systolic and diastolic blood pressure are $\rho = 0.897$, $p = 0.000 < 0.05$ and $\tau = 0.779$, $p = 0.048 < 0.05$ and $\rho = 0.890$, $p = 0.003 < 0.05$ and $\rho = 0.907$, $p = 0.024 < 0.05$. (significant if $p < 0.05$, with $\alpha = 0.05$). In conclusion, there is a linear, real and significant relationship between changes in altitude, from low to high altitude area, vice versa and changes in systolic and diastolic blood pressure.

Keywords: Altitude; low altitude; high altitude; blood pressure; systolic blood pressure; diastolic blood pressure

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan perbedaan ketinggian terhadap tekanan darah pada pelaku perjalanan dari dataran rendah ke dataran tinggi dan sebaliknya. Penelitian ini bersifat observasional analitik secara *cross sectional*, melibatkan 50 responden yang telah memenuhi kriteria inklusi, terbagi dalam dua kelompok yang melakukan perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon (dataran rendah ke dataran tinggi) dan dari kota Tomohon ke Manado (dataran tinggi ke dataran rendah) dan dilakukan pengukuran tekanan darah sistolik dan diastolik pada kedua kelompok perlakuan tersebut. Kemudian dilakukan analisis statistik korelasi serta uji hipotesis dengan bantuan SPSS vers. 25. Berdasarkan uji statistik korelasi (*Pearson product* dan *Kendall's Tau*) dan uji hipotesis (uji T-berpasangan dan Uji *Wilcoxon*), secara berturut-turut koefisien korelasi dan signifikansi uji hipotesis antara perbedaan ketinggian (kota Manado ke Tomohon dan sebaliknya) terhadap perubahan tekanan darah sistolik dan diastolik sebesar $\rho = 0,897$, $p = 0,000 < 0,05$ dan $\tau = 0,779$, $p = 0,048 < 0,05$ serta $\rho = 0,890$, $p = 0,003 < 0,05$ dan $\rho = 0,907$, $p = 0,024 < 0,05$. (signifikan apabila $p < 0,05$, dengan $\alpha = 0,05$). Sebagai simpulan, terdapat hubungan yang searah, nyata dan bermakna antara perbedaan ketinggian, baik dari dataran rendah ke dataran tinggi dan sebaliknya terhadap perubahan tekanan darah sistolik dan diastolik.

Kata kunci: ketinggian; dataran rendah; dataran tinggi; tekanan darah; tekanan darah sistolik; tekanan darah diastolik

PENDAHULUAN

Lingkungan sebagai tempat tinggal manusia memiliki pengaruh yang besar dalam penentuan perkembangan kemampuan fisik serta karakteristik pada tiap individu.¹ Adanya perbedaan karakteristik bentang alam, baik itu dari cuaca, suhu, iklim, tempat tinggal, dan ketinggian tempat tinggal akan mempengaruhi hidup manusia, termasuk fungsi anatomis serta proses fisiologis tubuh manusia.^{1,2,3}

Bentang alam terbagi menjadi dua bagian besar yaitu perairan dan daratan. Daratan sebagai habitat utama dimana manusia tinggal, terbagi menjadi beberapa bagian utama, antara lain dataran tinggi dan dataran rendah.^{4,6} Suatu wilayah dapat disebut sebagai dataran tinggi, jika memiliki ketinggian yang diukur dari permukaan laut ≥ 700 mdpl dan dataran rendah jika memiliki ketinggian < 200 mdpl.^{4,5,6}

Telah diketahui bahwa perbedaan karakteristik lingkungan akan memiliki dampak terhadap respon adaptasi fisiologis seseorang.^{1,2,3} Pernyataan ini didukung oleh Gallauhe dan Ozmun yang menyatakan bahwa karakteristik lingkungan tempat tinggal seperti iklim, temperatur, hingga ketinggian/ *altitude* tempat tinggal akan memberi dampak terjadinya adaptasi fisiologis seseorang.² Adanya respon adaptasi fisiologis baik pada penduduk di dataran rendah hingga di dataran tinggi ini terutama dipengaruhi oleh adanya perbedaan dalam nilai tekanan atmosfer (P_{atm}) dan tekanan parsial gas, terutama tekanan parsial gas Oksigen (PO_2) yang selanjutnya mempengaruhi proses fisiologis pada tubuh mereka tersebut.^{1,2,3}

Pada posisi sea level/ tepat di atas permukaan air laut, P_{atm} sebesar 1 atm/ 760 mmHg dan PO_2 sebesar 0,2 atm/ 159 mmHg, dan nilai ini akan semakin berkurang seiring dengan pertambahan ketinggiannya yang diukur dari permukaan air laut. Tidak seperti pada orang di dataran rendah dengan PO_2 lebih tinggi, pada orang di dataran tinggi akan mengalami lebih sedikitnya kadar O_2 yang terpakai oleh jaringan, menuju pada kondisi yang disebut sebagai hipoksia. Terjadinya hipoksia ini akan memicu terjadinya proses adaptasi respon fisiologis untuk mempertahankan fungsi tubuh yang disebut dengan aklimatisasi. Saat terjadinya hipoksia, akan diikuti oleh terjadinya suatu mekanisme kompensasi, seperti

hiperventilasi dan peningkatan curah jantung/ *cardiac Output*, yang mana peningkatan ventilasi jaringan dan curah jantung ini dapat mencegah penurunan tekanan inspirasi O_2 sehingga dapat meningkatkan tekanan alveolar O_2 dan tekanan arteri O_2 dalam, sehingga akan meningkatkan saturasi O_2 jaringan. Peningkatan curah jantung sebagai akibat dari mekanisme kompensasi terhadap hipoksia jaringan terutama diakibatkan oleh karena peningkatan denyut jantung yang diregulasi oleh sistem saraf otonom.^{2,7}

Dari beberapa penelitian maupun studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya, meskipun telah diketahui bahwa perubahan ketinggian dapat mempengaruhi besar tekanan darah, namun beberapa temuan lainnya juga menyimpulkan bahwa perubahan altitude tidak mempengaruhi besar tekanan darah seseorang. Perbedaan-perbedaan dalam temuan ini mungkin dipengaruhi oleh berbagai faktor yang bersifat multikompleks.^{8,9,10} Berdasarkan uraian yang telah disebutkan sebelumnya, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hubungan perbedaan ketinggian dengan perubahan tekanan darah pada pelaku perjalanan dari dataran rendah ke dataran tinggi dan sebaliknya

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang dilakukan secara observasional analitik melalui pendekatan *cross sectional*, yang dilaksanakan di dua lokasi yang berbeda berdasarkan altitude/ ketinggiannya terhadap permukaan laut pada bulan Oktober – November 2021, yaitu pada daerah dataran rendah yang dilakukan di sekitar wilayah kota Manado (+20-50 mdpl) dan pada daerah dengan dataran tinggi yang dilakukan di sekitar kota Tomohon (+ 750-1000 mdpl). Sasaran populasi pada penelitian ini adalah penduduk kota Manado dan kota Tomohon yang melakukan perjalanan dari dan ke kedua kota tersebut dengan menggunakan moda transportasi umum. Sampel yang dilibatkan dalam penelitian ini berjumlah 50 orang, yang mana terbagi dalam dua kelompok perlakuan, yaitu kelompok yang melakukan perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon dan sebaliknya (masing-masing 25 orang). Sampel dipilih secara *purposive random sampling* dan seleksi sampel mengacu pada kriteria inklusi yang

ditetapkan dalam penelitian, serta bersedia menjadi responden melalui penandatanganan *informed consent*.

Data primer yang terkumpul didapatkan dengan mengukur tekanan darah pada lengan atas responden, baik tekanan darah sistolik dan diastolik, pada saat sebelum memulai perjalanan dari daerah dataran rendah, dan kemudian tekanan darah responden diukur kembali saat responden telah tiba pada daerah dataran tinggi yang dituju. Begitupun sebaliknya, teknis yang sama juga dilakukan pada responden yang melakukan perjalanan dari daerah dataran tinggi ke dataran rendah. Data digolongkan sesuai dengan kelompok perlakuan yang ditetapkan dalam penelitian, yaitu kelompok pelaku perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon dan sebaliknya. Uji prasyarat olah dan analisis data dilakukan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengolahan dan analisis terhadap data, berupa uji asumsi klasik yaitu uji normalitas dengan syarat data akan terdistribusi normal jika $p \geq 0,05$. Dari data tersebut, didapatkan bahwa terdapat kelompok data baik yang terdistribusi normal dan terdistribusi tidak normal, sehingga hal ini akan menentukan uji statistik selanjutnya yang akan digunakan, yaitu uji statistik parametrik koefisien korelasi *product pearson* dan uji hipotesis T-berpasangan untuk data terdistribusi normal serta uji statistik non- parametrik koefisien korelasi *Kendall's Tau* dan uji hipotesis Wilcoxon untuk data terdistribusi

tidak normal. Pengolahan serta analisis data dikerjakan dengan bantuan software statistik SPSS versi 25.

HASIL PENELITIAN

Penelitian telah dilakukan selama periode Oktober- November 2021 dimana total jumlah sampel yang terpilih sebesar 50 orang, terbagi menjadi dua kelompok perlakuan, yaitu sebanyak 25 orang yang melakukan perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon dan 25 orang lainnya yang melakukan perjalanan dengan rute sebaliknya. Kedua kelompok perlakuan ini kemudian diukur tekanan darah sistolik dan diastoliknya baik sebelum memulai perjalanan maupun saat tiba di kota yang dituju.

Karakteristik responden berdasarkan jenis kelamin pada pelaku perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon dan sebaliknya dapat dilihat pada Tabel 1. Karakteristik responden serta statistik deskriptif berdasarkan usia dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4. Statistik deskriptif tekanan darah sistolik dan diastolik pada pelaku perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon dan sebaliknya dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8. Hasil uji normalitas data dapat dilihat dalam Tabel 9. Hasil Uji koefisien korelasi serta uji Hipotesis terhadap data hasil pengukuran tekanan darah dapat dilihat dalam Tabel 10.

Tabel 1. Distribusi responden berdasarkan jenis kelamin

Jenis Kelamin	Rute Perjalanan				Total keseluruhan	
	Manado - Tomohon		Tomohon- Manado		Frekuensi (n)	Persentase (%)
	Frekuensi (n)	Persentase (%)	Frekuensi (n)	Persentase (%)		
Laki- laki	14	56%	13	52%	27	54%
Perempuan	11	44%	12	48%	23	46%
Total	25	100%	25	100%	50	100%

BAHASAN

Tekanan darah merupakan tekanan atau gaya dorong terhadap dinding arteri saat darah yang bersirkulasi dipompa oleh jantung dan kemudian diedarkan menuju seluruh anggota tubuh.¹¹ Besar tekanan darah dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik faktor sentral, perifer, faktor lainnya seperti usia, jenis kelamin, gaya hidup hingga keadaan lingkungan, termasuk ketinggian/

altitude daerah tertentu dimana seseorang berada, dan hal ini memiliki dampak terhadap respon adaptasi fisiologis seseorang sebagai upaya adaptasi tubuh terhadap adanya perubahan tersebut.^{2,12,13} Perubahan tekanan darah sebagai akibat dari perubahan ketinggian daerah dimana seseorang berada memberikan jawaban yang beragam mengenai ada tidaknya korelasi pada perubahan salah satu ataupun

kedua jenis nilai tekanan darah sebagai akibat dari perubahan ketinggian seseorang pada wilayah tertentu.^{14,15}

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan dengan melibatkan sebanyak total 50 responden di dua daerah yang tergolong sebagai daerah dataran rendah dan daerah dataran tinggi, yaitu kota Manado dan kota Tomohon, diketahui bahwa terdapat korelasi yang signifikan dan nyata, dimana pada pelaku perjalanan rute kota Manado- kota Tomohon didapatkan nilai uji signifikansi secara berturut- turut terhadap perubahan tekanan darah sistolik dan diastolik $p= 0,000 < \alpha$ dan $p= 0,048 < \alpha$, dimana nilai $\alpha = 0,05$, dan pada pelaku perjalanan kota Tomohon- kota Manado didapatkan nilai uji signifikansi secara berturut- turut terhadap perubahan tekanan darah sistolik dan diastolik $p= 0,003 < \alpha$ dan $p= 0,024 < \alpha$, dimana nilai $\alpha = 0,05$. Hasil penelitian ini (signifikan apabila p value $< 0,05$) serupa dengan penelitian terdahulu dengan topik yang relevan, dimana pertambahan atau penurunan ketinggian/ altitude akan berkorelasi searah terhadap peningkatan atau penurunan nilai tekanan darah.^{14,15,16} Seperti pada beberapa penelitian yang dilaporkan oleh Bartsh dkk,¹⁷ Reeves dkk,¹⁸ dan Modesti dkk,¹⁹ yang menyatakan bahwa terdapat peningkatan tekanan darah selama paparan akut pada daerah yang lebih tinggi berdasarkan pengukuran konvensional tekanan darah. Wolfel dkk²⁰ dalam penelitiannya juga menunjukkan hasil yang serupa dimana terdapat peningkatan nilai tekanan darah arterial baik saat diukur pada siang dan malam hari yang dilakukan pada 5 subjek dan dibandingkan dengan plasebo pada ketinggian 4300 mdpl, dan penelitian Palatini dkk²¹ yang dilakukan pada baik kelompok dengan normotensi dan hipertensi, menunjukkan bahwa nilai tekanan darah pada kedua kelompok yang berada di cortina d' Ampezzo (1210 mdpl) akan lebih besar dibandingkan pada mereka yang berada di Padua (9 mdpl), dimana rerata kenaikan tekanan darah sistolik/ diastolik sebesar 6,1/1,5 mmHg ($p < 0,005$) dan 5,5/4,3 mmHg ($p < 0,05$) secara berurutan pada kelompok normotensi dan hipertensi, dan nilai tekanan darah ini akan makin meningkat hingga pada ketinggian 3060 mdpl di daerah Monte Cristallo. Dalam sebuah penelitian cross sectional yang dilakukan oleh Otsuka dkk²² pada penduduk

yang tinggal di daerah dataran rendah di Hokkaido, Jepang (3524 mdpl, n=216 warga, usia 24-79 tahun) dan dataran tinggi Leh, Ladakh (25 mdpl, n=332 warga, usia 13-81 tahun), didapatkan bahwa pada mereka di dataran tinggi akan menunjukkan nilai tekanan darah diastolik lebih besar dibanding mereka di dataran rendah (83,2 mmHg vs 76,9 mmHg, $p < 0,001$). Penelitian yang dilakukan pada daerah sekitar laut mati (daerah dataran rendah, -430 mdpl) juga menunjukkan bahwa tekanan darah sistolik baik pada kelompok normotensi maupun hipertensi akan menurun seiring dengan penurunan ketinggian mereka, dimana tekanan darah sistolik akan menurun rata-rata hingga 17 mmHg ($p < 0,05$) dan tekanan darah diastolik akan menurun rata-rata 8 mmHg dari nilai tekanan darah sistolik dan diastolik mereka sebelum melakukan perjalanan ke daerah sekitar laut mati dan bertahan selama beberapa hari saat mereka berada di daerah sekitar laut mati tersebut.¹⁶

Tabel 2. Distribusi karakteristik responden berdasarkan usia pada pelaku perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon.

Usia (tahun)	Frekuensi (n)	Persentase (%)
21-25	15	60%
26-30	3	12%
31-35	4	16%
36-40	2	8%
41-45	-	0%
46-50	-	0%
51-55	1	4%
Total	25	100%

Tabel 3. Distribusi karakteristik responden berdasarkan usia pada pelaku perjalanan dari kota Tomohon ke kota Manado.

Usia (tahun)	Frekuensi (n)	Persentase (%)
20-24	10	40%
25-29	8	32%
30-34	4	16%
34-38	1	4%
39-43	1	4%
44-48	1	4%
Total	25	100%

Tabel 4. Statistik deskriptif berdasarkan usia pada pelaku perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon dan dari kota Tomohon ke kota Manado.

Rute Perjalanan	N	Usia minimum (tahun)	Usia maksimum (tahun)	Mean usia (tahun)	Deviasi Standar
Manado-Tomohon	25	21	52	27,32	7,448
Tomohon-Manado	25	20	48	27,32	6,811

Tabel 5. Tekanan darah sistolik pada pelaku perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon.

N (Orang)		TD Sistolik minimum (mmHg)		TD Sistolik maksimum (mmHg)		Mean TD Sistolik (mmHg)		Deviasi Standar	
Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh
25	25	103	107	124	130	115,88	118,84	5,761	6,593

Tabel 6. Tekanan darah diastolik pada pelaku perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon

N (Orang)		TD Diastolik minimum (mmHg)		TD Diastolik maksimum (mmHg)		Mean TD Diastolik (mmHg)		Deviasi Standar	
Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh
25	25	63	66	85	86	73,4	74,12	5,701	5,967

Tabel 7. Tekanan darah sistolik pada pelaku perjalanan dari kota Tomohon ke kota Manado

N (Orang)		TD Sistolik minimum (mmHg)		TD Sistolik maksimum (mmHg)		Mean TD Sistolik (mmHg)		Deviasi Standar	
Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:
25	25	107	103	132	127	118,56	116,48	6,178	6,795

Tabel 8. Tekanan darah diastolik pada pelaku perjalanan dari kota Tomohon ke kota Manado

N (Orang)		TD Diastolik minimum (mmHg)		TD Diastolik maksimum (mmHg)		Mean TD Diastolik (mmHg)		Deviasi Standar	
Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:	Tmh	Mnd:
25	25	60	57	80	81	71,36	70,28	5,155	5,224

Tabel 9. Uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk analisis normalitas data hasil pengukuran tekanan darah pada pelaku perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon dan dari kota Tomohon ke kota Manado

Kelompok Data	N	p (<i>asymptotic</i> sig-2 tailed), $\alpha = 0,05$	Keterangan (distribusi normal jika $p < 0,05$)
TD Sistolik Manado-Tomohon	50	0,200	Data terdistribusi normal. Selanjutnya dilakukan uji parametrik.
TD Diastolik Manado-Tomohon	50	0,000	Data terdistribusi tidak normal. Selanjutnya dilakukan uji non-parametrik.
TD Sistolik Tomohon-Manado	50	0,200	Data terdistribusi normal. Selanjutnya dilakukan uji parametrik.
TD Diastolik Tomohon-Manado	50	0,200	Data terdistribusi normal. Selanjutnya dilakukan uji parametrik.

Tabel 10. Uji koefisien korelasi serta uji Hipotesis terhadap data hasil pengukuran tekanan darah pada pelaku perjalanan dari kota Manado ke kota Tomohon dan dari kota Tomohon ke kota Manado

Kelompok Data Berpasangan	N (<i>paired</i>)	Koefisien Korelasi	Uji hipotesis (<i>asymptotic</i> , $\alpha = 0,05$)	Keterangan (signifikan jika $p < 0,05$)
TD Sistolik Manado-Tomohon	25	<i>Pearson Product</i> , $\rho = 0,897$	Uji T Berpasangan, $p=0,000$	Hipotesis H1 _a diterima
TD Diastolik Manado-Tomohon	25	<i>Kendall's Tau</i> , $\tau = 0,779$	Uji <i>Wilcoxon</i> Berpasangan, $p= 0,048$	Hipotesis H1 _b diterima
TD Sistolik Tomohon-Manado	25	<i>Pearson Product</i> , $\rho = 0,890$	Uji T Berpasangan, $p=0,003$	Hipotesis H1 _a diterima
TD Diastolik Tomohon-Manado	25	<i>Pearson Product</i> , $\rho = 0,907$	Uji T Berpasangan, $p=0,024$	Hipotesis H1 _b diterima

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan dengan melibatkan sebanyak total 50 responden di dua daerah yang tergolong sebagai daerah dataran rendah dan daerah dataran tinggi, yaitu kota Manado dan kota Tomohon, diketahui bahwa terdapat korelasi yang signifikan dan nyata, dimana pada pelaku perjalanan rute kota Manado-kota Tomohon didapatkan nilai uji signifikansi secara berturut-turut terhadap perubahan tekanan darah sistolik dan diastolik $p= 0,000 < \alpha$ dan $p= 0,048 < \alpha$, dimana nilai $\alpha = 0,05$, dan pada pelaku perjalanan kota Tomohon- kota Manado didapatkan nilai uji signifikansi secara berturut-turut terhadap perubahan tekanan darah sistolik dan diastolik $p= 0,003 < \alpha$ dan $p= 0,024 < \alpha$, dimana nilai $\alpha = 0,05$. Hasil penelitian ini (signifikan apabila p value $< 0,05$) serupa dengan penelitian terdahulu dengan topik yang relevan, dimana pertambahan atau penurunan ketinggian/altitude akan berkorelasi searah terhadap peningkatan atau penurunan nilai tekanan darah.^{14,15,16} Seperti pada beberapa penelitian yang dilaporkan oleh Bartsh dkk¹⁷, Reeves dkk¹⁸ dan Modesti dkk¹⁹ yang menyatakan bahwa terdapat peningkatan tekanan darah selama paparan akut pada daerah yang lebih tinggi berdasarkan pengukuran konvensional tekanan darah. Wolfel dkk²⁰ dalam penelitiannya juga menunjukkan hasil yang serupa dimana terdapat peningkatan nilai tekanan darah arterial baik saat diukur pada siang dan malam hari yang dilakukan pada 5 subjek dan dibandingkan dengan plasebo pada ketinggian 4300 mdpl, dan penelitian Palatini dkk²¹ yang dilakukan pada baik kelompok dengan normotensi dan hipertensi, menunjukkan bahwa nilai tekanan darah

pada kedua kelompok yang berada di cortina d' Ampezzo (1210 mdpl) akan lebih besar dibandingkan pada mereka yang berada di Padua (9 mdpl), dimana rerata kenaikan tekanan darah sistolik/ diastolik sebesar 6,1/1,5 mmHg ($p < 0,005$) dan 5,5/4,3 mmHg ($p < 0,05$) secara berurutan pada kelompok normotensi dan hipertensi, dan nilai tekanan darah ini akan makin meningkat hingga pada ketinggian 3060 mdpl di daerah Monte Cristallo. Dalam sebuah penelitian cross sectional yang dilakukan oleh Otsuka dkk²² pada penduduk yang tinggal di daerah dataran rendah di Hokkaido, Jepang (3524 mdpl, $n=216$ warga, usia 24-79 tahun) dan dataran tinggi Leh, Ladakh (25 mdpl, $n=332$ warga, usia 13-81 tahun), didapatkan bahwa pada mereka di dataran tinggi akan menunjukkan nilai tekanan darah diastolik lebih besar dibanding mereka di dataran rendah (83,2 mmHg vs 76,9 mmHg, $p < 0,001$). Penelitian yang dilakukan pada daerah sekitar laut mati (daerah dataran rendah, -430 mdpl) juga menunjukkan bahwa tekanan darah sistolik baik pada kelompok normotensi maupun hipertensi akan menurun seiring dengan penurunan ketinggian mereka, dimana tekanan darah sistolik akan menurun rata-rata hingga 17 mmHg ($p < 0,05$) dan tekanan darah diastolik akan menurun rata-rata 8 mmHg dari nilai tekanan darah sistolik dan diastolik mereka sebelum melakukan perjalanan ke daerah sekitar laut mati dan bertahan selama beberapa hari saat mereka berada di daerah sekitar laut mati tersebut.¹⁶

Adanya perubahan nilai tekanan darah dikarenakan perbedaan ketinggian seseorang pada suatu wilayah ini dapat dipahami karena adanya beberapa mekanisme kompleks yang mendasari

perubahan tersebut,^{23,24} yang paling penting adalah berkurangnya tekanan barometrik yang selanjutnya akan menyebabkan pengurangan tekanan parsial oksigen yang mempengaruhi proses inspirasi, terjadi deplesi gas O₂ jaringan yang kemudian akan menyebabkan terjadinya hipoksia hipobarik. Sebagai respon tubuh terhadap adanya hipoksia hipobarik ini, maka tubuh akan melakukan serangkaian respon fisiologi adaptif yang disebut sebagai aklimatisasi, baik dalam waktu sesaat ataupun hingga dalam jangka waktu tertentu setelah mengalami paparan kondisi tersebut.^{21,23,25}

Melalui stimulasi kemoreseptor perifer, hipoksia akut akan mengaktifkan rangsangan sistem saraf simpatis, yang mana menjadi penyebab utama terjadinya peningkatan curah jantung, denyut jantung, vasokonstriksi perifer, juga tahanan vaskular sistemik sehingga akan mengakibatkan peningkatan tekanan darah arteri, diikuti dengan penurunan signifikan saturasi O₂ (SpO₂) jaringan juga peningkatan berkelanjutan dari aktivitas simpatis.^{23,25} Aktivasi saraf simpatis ini akan terjadi segera setelah berada di dataran tinggi dan dapat bertahan selama beberapa hari berada di dataran tinggi dan secara bertahap akan kembali ke nilai normal.^{14,21} Hal ini juga dilakukan sebagai adaptasi respon tubuh untuk mempertahankan homeostasis.²³

Peningkatan tonus simpatis dapat bertindak sebagai respons alami oleh subjek yang sebelumnya belum beradaptasi untuk melawan efek hipoksia. Hipoksia secara langsung mempengaruhi tonus vaskular dari resistensi pembuluh darah sistemik, meningkatkan ventilasi dan aktivitas simpatis melalui melalui stimulasi kemoreseptor perifer. Interaksi terjadi antara vasodilatasi arteriol sistemik dan respons yang dimediasi kemoreseptor dalam sirkulasi sistemik. Dengan demikian akan menyebabkan eksitasi simpatis yang dimediasi baroreseptor. Adaptasi terhadap aktivitas saraf otonom ini memiliki peran dalam peningkatan tekanan darah selama terjadi kelanjutan hipoksia tersebut.²⁶

Durasi paparan dapat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi perubahan sirkulasi selama terjadinya aklimatisasi yang diakibatkan oleh perubahan ketinggian, dimana perubahan tekanan darah maksimum diamati terjadi pada saat hari kedua saat berada di dataran tinggi dan kemudian tekanan darah akan kembali normal setelah 1 minggu atau lebih

setelahnya.²¹

Pada penelitian lainnya juga diketahui bahwa secara signifikan parameter penanda hematologik seperti hemoglobin dan hematokrit akan meningkat pada mereka di dataran tinggi dibanding mereka di dataran rendah/ selevel permukaan laut, Hb ($p < 0,001$) dan Hct ($p < 0,001$), sehingga hal ini mendukung pemahaman yang telah diketahui sebelumnya bahwa peningkatan hemoglobin dan hematokrit sebagai dampak dari aklimatisasi terhadap respon tubuh terhadap kebutuhan oksigenasi jaringan.²⁷

Meskipun hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian terhadap sejumlah penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, namun hasil penelitian ini pun menunjukkan beberapa perbedaan terhadap penelitian lainnya. Terdapat hasil penelitian lain yang tidak menunjukkan adanya korelasi atau yang menunjukkan korelasi tidak searah antara perubahan ketinggian seseorang di suatu wilayah tertentu terhadap perubahan tekanan darah. Seperti dalam sebuah studi kohort oleh Keyes dkk²⁸ yang dilakukan terhadap 672 pendaki Himalaya menunjukkan bahwa pada ketinggian 2.860-4.300 mdpl, tidak terjadi perubahan nilai tekanan darah yang signifikan baik pada pendaki yang normotensi maupun pada pendaki yang hipertensi. Nilai tekanan darah juga diketahui tidak mengalami perubahan berarti pada mereka yang mendaki pada daerah dengan ketinggian menengah.²⁸ Penelitian yang dilakukan pada sekelompok remaja pria di China juga menunjukkan bahwa secara keseluruhan, seiring dengan perubahan ketinggian, perubahan tekanan darah hanya terjadi pada tekanan darah sistolik, tidak pada tekanan darah diastolik,²⁶ dan pada penelitian terhadap sebuah populasi yang tinggal pada daerah dataran tinggi di Nepal, juga menemukan bahwa korelasi yang kuat dan signifikan hanya terjadi pada perubahan tekanan darah sistolik dalam hubungannya dengan peningkatan ketinggian, sedangkan pada perubahan tekanan darah diastolik, tidak didapatkan adanya korelasi signifikan, meskipun korelasi bersifat linier/ searah.²⁹

Saat berada di dataran tinggi, tekanan darah sistemik akan mengalami perubahan sebagai hasil dari adanya beberapa respon fisiologis, yang mana pola perubahan ini dapat terjadi melalui tiga fase yang berbeda. Menurut Wolfel dkk,²⁰ beberapa menit hingga beberapa jam setelah pengaruh hipoksia hipobarik, nilai tekanan darah

dilaporkan sebagian besar tetap karena adanya efek vasodilatasi langsung dari hipoksia yang melawan aktivasi sistem saraf simpatis yang diinduksi oleh rangsangan kemoreseptor perifer. Selanjutnya, akan terjadi peningkatan tekanan darah secara perlahan dikarenakan mekanisme pressor mulai mendominasi proses aklimatisasi, yang sesuai dengan pendapat Hansen dan Sander.³⁰ Setelah periode yang lebih lama, mekanisme ini sebagian akan terhambat walaupun konsentrasi O₂ darah meningkat pada kejadian aklimatisasi melalui proses ventilasi dan difusi alveolar serta peningkatan hematokrit. Hal ini yang mungkin dapat menjelaskan mengenai nilai tekanan darah yang dapat lebih rendah meskipun berada di dataran tinggi.³¹

Penelitian ini sejatinya memiliki beberapa keterbatasan. Jumlah sampel yang tergolong sedikit (n= 25 data berpasangan) pada kedua rute perjalanan sehingga jumlah sampel yang lebih besar diperlukan agar dapat memperkecil dan atau menghindari kemungkinan terjadinya *random error* terhadap hasil penelitian, sehingga menghasilkan simpulan yang lebih akurat dan dapat diterapkan pada populasi umum. Pemilihan teknik sampling secara *purposive sampling* yang didasari atas preferensi yang mungkin dapat bersifat subjektif dari peneliti dan hal ini memungkinkan terjadinya bias sehingga dapat mempengaruhi hasil penelitian. Pengukuran tekanan darah dalam penelitian ini juga hanya dilakukan sekali ukur pada tiap responden, sehingga hal ini mungkin dapat mempengaruhi hasil pembacaan tekanan darah tiap responden. Pencatatan terhadap nilai tekanan darah pada responden dilakukan hanya sesaat setelah responden datang/ tiba pada daerah dataran tinggi maupun dataran rendah, dan tidak dilakukan secara kontinu setidaknya dalam jangka waktu beberapa hari pada responden untuk melihat seberapa besar korelasi maupun perbandingan yang terjadi antara perubahan ketinggian terhadap perubahan tekanan darah pada kondisi-kondisi tersebut, serta adanya faktor lain yang tak dapat dikendalikan selama pengamatan dan pengumpulan data, seperti suhu lingkungan sekitar dan waktu pengukuran tekanan darah yang tidak seragam (siang dan malam hari pada tempat yang sama), dapat mempengaruhi data hasil pengukuran tekanan darah. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk membandingkan ataupun mengkonfirmasi temuan dalam

penelitian ini agar dapat memberikan tambahan informasi mengenai hubungan antara perbedaan ketinggian suatu wilayah dengan perubahan tekanan darah penduduk yang berada di daerah tersebut.

SIMPULAN

Terdapat hubungan yang signifikan dan nyata antara perubahan ketinggian dengan tekanan darah sistolik dan diastolik pada pelaku perjalanan baik dari kota Manado-Tomohon dan kota Tomohon-Manado. Hasil ini juga mendukung hipotesis yang telah diajukan, dimana ada hubungan antara perubahan ketinggian dengan perubahan nilai tekanan darah, baik sistolik maupun diastolik.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan dalam studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adristian I. Perbedaan Nilai Vo₂ Maks Pada Remaja Di Daerah Dataran Tinggi Dan Dataran Rendah. Univ Muhammadiyah surakarta. 2017;1-9.
2. Sudiana IK. Dampak adaptasi lingkungan terhadap perubahan fisiologis. Semin Nas FMIPA UNDIKSHA.3.2013;211-8.
3. Multazam A, Ekspirasi AP. Hubungan high altitude terhadap kemampuan fungsional paru pada perokok di desa ngadas kecamatan poncokusumo kabupaten malang. J Sport Science.2020;4681:144-52.
4. Hasanah FT. Karakteristik Wilayah Daratan dan Perairan Indonesia. J Geogr 2020;20(13):1-6.
5. Jamil LN. Tingkat kebugaran jasmani siswa kelas VSDN 1 samigaluh di daerah dataran tinggi dan siswa kelas VSDN punukan di daerah dataran rendah di Kabupaten pulon progo. Univ Negeri Yogyakarta. Sep 2015;1-52.
6. Ardhan AR. Perbandingan nilai hematokrit pada penduduk yang berdomisili di dataran tinggi dan dataran rendah. Univ Muhammadiyah Surabaya. 2014; 2013;4-21.
7. Fernandez SC. Hubungan stres dan beban kerja terhadap tekanan darah pada karyawan distributor tekstil X. Repository/Trisakti [Internet].2015; d:6-19.
8. Yana F. Pengaruh paparan asap pada perokok pasif terhadap profil tekanan darah dan tingkat pengetahuan di wilayah kerja puskesmas

- sumbang 1. Fakultas Ilmu Kesehatan UMP 2019;11-32.
9. Zunnur NH, Adrianto A, Basyar E. Kesesuaian tipe tensimeter air raksa dan tensimeter digital terhadap pengukuran tekanan darah pada usia dewasa. *J Kedokt Diponegoro*.2017;53(9).
 10. Sari R, Chasani S, Santoso S. Hubungan antara derajat hipertensi pada pasien usia lanjut dengan komplikasi organ target di rsup dokter kariesi semarang. *Univ Diponegoro*.2013;7-11.
 11. Afif M. perbedaan hasil pengukuran tekanan darah pada lengan dan kaki pasien di rs. roemani muhammadiyah semarang 2018;7-18.
 12. Eriska Y, Adrianto A, Basyar E. Kesesuaian tipe tensimeter pegas dan tensimeter digital terhadap pengukuran tekanan darah pada usia dewasa. *Univ Diponegoro*. 2016: 7-38.
 13. Fahriyanti, WOF. Hubungan pola makan terhadap kualitas tekanan darah pada laki- laki dewasa. *Univ Muhammadiyah Yogyakarta*.2019:1-24.
 14. Verma N, Pal AK. Effect of Altitude on Blood Pressure. *Hypertens J* 2017;3(4):171-172.
 15. Khalid MEHM, Adzaku FK. The effect of altitude on blood pressure in the assir Province of Saudi arabia. *Widerness and Environmental Medicine*. 1995;6: 401-6.
 16. Paran E, Neuman L, Sukenik S. Blood pressure changes at the Dead Sea (a low altitude area). *J Hum Hypertens*. 1998;12(8):551-5.
 17. Bartsch P, Shaw S, Francioli M, Gnadinger MP, Weidmann P. Atrial natriuretic peptide in acute mountain sickness. *J Appl Physiol*. 1988;65:1929-37.
 18. Reeves JT, Mazzeo RS, Wolfel EE, Young AJ. Increased arterial pressure after acclimatization to 4300 m: Possible role of norepinephrine. *Int J Sports Med*. 1992;13:18-21.
 19. Modesti PA, Vanni S, Morabito M, et al. Role of endothelin-1 exposure to high altitude acute. Acute Mountain Sickness and Endothelin-1 (ACME- 1) study. *Circulation*. 2006; 114:1410-1416.
 20. Wolfel EE, Selland MA, Mazzeo RS, Reeves JT. Systemic hypertension at 4.300 m is related to sympathoadrenal activity. *J Appl Physiol*. 1994;76(4):1643-50.
 21. Palatini P, Businaro R, Berton G, et al. Effect of low altitude exposue on 24-hour blood pressure and adrenergic activity. *American J Cardiol*. Dec 1989; 64: 1379-82.
 22. Otsuka K, Norboo T, Otsuka Y, et al. Effect of aging on blood pressure in Leh, Ladakh, a high- altitude (3.524 m) community, by comparison with a Japanese town. *Biomed Pharmacother*. 2005;59:54-60.
 23. Parati G, Ochoa JE, Torlasco C, Salvi P, Lombardi C, Bilo G. Aging, High Altitude, and Blood Pressure: A Complex Relationship. *High Alt Med Biol*. 2015;16(2):97-109.
 24. Stoltzfus KB, Naylor D, Cattermole T, etal. Blood pressure changes while hiking at moderate altitudes: a prospective cohort study. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17:1-9.
 25. Torlasco C, Bilo G, Giuliano A, et al. Effects of acute exposure to moderate altitude on blood pressure and sleep breathing patterns. *Int J Cardiol*. 2019;1-24.
 26. Liu Y, Chang JH, Gao XB, et al. Correlation between blood pressure changes and AMS, sleeping quality and exercise upon high-altitude exposure in young Chinese men. *Military Med Research J*. 2014; 1(19):1-9.
 27. Singh K, Gupta RK, Soree P, Rai L. Longterm stay at low altitude (1,200 m) promotes better hypoxia adaptation and performance. *Indian J Physiol Pharmacol*. 2014; 58(4):376-380.
 28. Keyes LE, Sallade TD, Duke C, et al. Blood pressure and altitude: An observational cohort study of hypertensive and nonhypertensive Himalayan trekkers in Nepal. *High Alt Med Biol*. 2017;00(00):1-11.
 29. Aryal N, Weatherall M, Bhatta YKD, Mann S. Blood pressure and hypertension in people living at high altitude in Nepal. *Hypertens Res [Internet]*. 2019;42(2):284-91. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41440-018-0138-x>.
 30. Hansen J, Sander M. Sympathetic neural overactivity in healthy humans after prolonged exposure to hypobaric hypoxia. *J Physiol*. 2003;546(3):921-9.
 31. Grocott M, Montgomery H, Vercueil A. High- altitude physiology and pathophysiology: Implications and relevance for intensive care medicine. *Crit Care*. 2007 Feb 1;11(1):1-5.