

PENGARUH INTERVENSI BERAS TINGGI BESI TERHADAP VO₂MAX SANTRIWATI PONDOK PESANTREN AL-FALAK BOGOR

Effect of High-iron Rice Intervention on VO₂max of Female Students of Al-Falak Bogor Islamic Boarding School

Ade Salma Yunia Rachmah¹, Mira Dewi^{*}, Evy Damayanthi¹, Dwinita Wikan Utami²

¹ Departemen Gizi Masyarakat, Fakultas Ekologi Manusia, IPB University, Bogor, Indonesia

² Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian Indonesia, Bogor, Indonesia

*E-mail: mirade@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Remaja putri berisiko mengalami defisiensi besi yang diketahui dapat berdampak negatif terhadap kebugaran. Beras tinggi besi telah dikembangkan melalui biofortifikasi namun masih belum banyak bukti terkait manfaatnya terhadap perbaikan VO₂max sebagai suatu indikator kebugaran fisik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak pemberian beras tinggi besi terhadap nilai VO₂max. Sebanyak 18 santriwati pondok pesantren Al-Falak di Bogor yang berusia 12–18 tahun dilibatkan dalam penelitian eksperimen semu ini berdasarkan kriteria yang ditetapkan. Beras tinggi besi yang mengandung 50,4 ppm besi disediakan 3 kali sehari selama 4 minggu. Tes lari bolak-balik 20 m dilakukan untuk mendapatkan nilai VO₂max. Data lainnya seperti asupan makanan, Indeks Massa Tubuh menurut umur, hemoglobin, dan ferritin serum juga dikaji. Uji-t berpasangan dan Wilcoxon Ranks dilakukan untuk menganalisis perbedaan nilai data sebelum dan sesudah intervensi. Hampir seluruh asupan zat gizi mengalami penurunan yang signifikan ($p < 0,05$) setelah intervensi, kecuali asupan besi. Konsentrasi hemoglobin juga menjadi lebih rendah secara signifikan, sementara ferritin serum tidak berubah secara nyata. Meskipun begitu, VO₂max meningkat secara signifikan setelah intervensi. Kesimpulannya, terdapat peningkatan kebugaran setelah intervensi beras tinggi besi selama 4 minggu pada santriwati.

Kata kunci: beras tinggi besi, kebugaran, santriwati, VO₂max

ABSTRACT

Female adolescents are at risk of iron deficiency which is known can negatively affect fitness. High-iron rice has been developed through biofortification but there is still lack of evidence regarding its benefit in improving VO₂max as a physical fitness indicator. This study aimed to determine impact of high-iron rice intervention towards VO₂max value. A total of 18 female students from Al-Falak Bogor Islamic boarding school aged 12–18 years were selected purposively in this quasi-experimental study. High-iron rice contained 50.4 ppm iron provided thrice daily for 4 weeks. A 20 m shuttle run test was conducted to obtain VO₂max value. Other data such as food intake, BMI for age, hemoglobin, and serum ferritin were also evaluated. Paired t-test or Wilcoxon Ranks test was performed to analyze difference in data value before and after the intervention. Most nutrient intakes experienced a significant decline ($p < 0.05$) after the intervention, except for iron intake. Hemoglobin concentration also became lower significantly, whereas serum ferritin did not alter significantly. Nevertheless, VO₂max improved significantly after the intervention. To summarize, there was an increase in fitness after high-iron rice intervention for 4 weeks in female students.

Keywords: female student, fitness, high-iron rice, VO₂max

PENDAHULUAN

Defisiensi besi merupakan penyebab utama anemia, dimana secara global masih dialami pada usia remaja (WHO, 2015; WHO, 2021). Periode remaja membutuhkan besi lebih banyak untuk menunjang peningkatan pertumbuhan dan ukuran

tubuh (Edelstein, 2015; Mahan & Raymond, 2017). Menurut data Riskesdas Indonesia tahun 2018, prevalensi anemia untuk kelompok umur 15–24 tahun adalah sebesar 32%, menduduki tingkat sedang sebagai masalah kesehatan masyarakat (Kemenkes RI, 2018). Sementara itu, penelitian di

Indonesia terkait Anemia Defisiensi Besi (ADB) yang dapat diindikasikan dengan ferritin serum dan hemoglobin pada remaja masih sedikit.

Remaja putri lebih rentan mengalami ADB dibandingkan remaja putra dikarenakan kehilangan zat besi melalui menstruasi (Lopez *et al.*, 2016). Selain faktor jenis kelamin, penelitian menyebutkan bahwa anak yang menempuh pendidikan di sekolah asrama lebih berisiko mengalami anemia (Chen *et al.*, 2018; Nicholaus *et al.*, 2020). Beberapa faktor yang berkontribusi terhadap kejadian anemia di sekolah asrama diantaranya penyediaan menu makanan yang kurang seimbang dan kebiasaan melewati waktu makan (Purwandari, 2018; Chen *et al.*, 2018; Ekayanti *et al.*, 2020; Nicholaus *et al.*, 2020).

Defisiensi besi dapat menghambat pengangkutan oksigen oleh hemoglobin ke seluruh tubuh yang selanjutnya secara fungsional mengganggu kebugaran tubuh (Myhre *et al.*, 2016). Kombinasi defisiensi besi dan rendahnya kebugaran dapat mencegah pencapaian potensi akademik murid yang optimal (Scott *et al.*, 2017).

Salah satu komponen kebugaran fisik yaitu kebugaran aerobik atau kardiorespirasi dapat diukur menggunakan nilai VO_2max . VO_2max adalah volume oksigen maksimal yang dapat digunakan dan didistribusikan ke otot ketika melakukan aktivitas fisik (Huldani, 2020).

Biofortifikasi merupakan salah satu strategi yang mudah dilaksanakan, hemat biaya, dan berkelanjutan untuk mengatasi masalah defisiensi zat mikro (Lockyer *et al.*, 2018). Biofortifikasi adalah pemuliaan tanaman untuk meningkatkan nilai gizinya, terutama mineral dan vitamin selama pertumbuhan tanaman (Tako, 2018). Biofortifikasi beras di Indonesia mulai dikembangkan dengan pendekatan pemuliaan molekular, menghasilkan beras yang tahan besi (Fe) dan disebut dengan beras BionutriFe. Beras tersebut mengandung 50,4 ppm besi atau dapat mencapai 5 kali lipat beras unggul lokal di Jawa Barat (Syahfitri *et al.*, 2018).

Hingga penelitian ini dilakukan, hanya terdapat satu penelitian yang mengamati tentang efek dari biofortifikasi beras yaitu penelitian pada wanita Filipina dan hasilnya menunjukkan peningkatan yang signifikan pada ferritin serum, dengan respon lebih besar pada wanita yang

defisiensi tanpa anemia (Haas *et al.*, 2005). Pengaruh biofortifikasi besi pada tanaman pokok lainnya yakni polong biofortifikasi besi yang dapat meningkatkan hemoglobin dan ferritin serum pada wanita di Rwanda dan millet mutiara yang dapat meningkatkan ferritin serum pada anak – anak sekolah di India (Finkelstein *et al.*, 2015; Haas *et al.*, 2016). Berdasarkan meta-analisis oleh Finkelstein *et al.* (2017), biofortifikasi besi pada tanaman pokok dapat memperbaiki status besi (Finkelstein *et al.*, 2017).

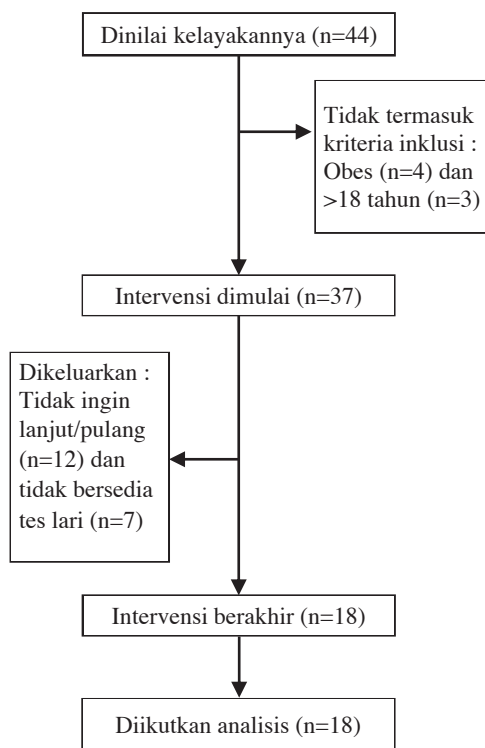
Terdapat hubungan signifikan antara status besi terhadap jumlah konsumsi oksigen maksimal (Wang *et al.*, 2009; De Moura *et al.*, 2014). Penelitian menunjukkan bahwa pemberian tambahan zat besi dapat meningkatkan VO_2max baik pada wanita yang anemia dan defisiensi besi tanpa anemia (DellaValle & Haas, 2014; Pasricha *et al.*, 2014).

Namun demikian, bukti-bukti manfaat beras biofortifikasi besi terhadap kebugaran yang dinilai dengan VO_2max masih terbatas, terutama di Indonesia. Penelitian terkait biofortifikasi besi terhadap kebugaran diperlukan untuk memperkuat manfaat dari pangan biofortifikasi besi, terutama diperuntukkan bagi populasi remaja putri yang menempuh pendidikan di pondok pesantren. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh intervensi beras tinggi besi terhadap kebugaran fisik santriwati pondok pesantren Al-Falak di Bogor.

METODE

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian payung dan dirancang sebagai penelitian eksperimen semu dengan satu kelompok *pretest-posttest*. Tempat penelitian yang dipilih adalah pondok pesantren Al-Falak di Kabupaten Bogor, Jawa Barat.

Sejumlah 44 santriwati pondok pesantren Al-Falak Bogor yang datanya lengkap dan dipilih pada penelitian induk (utama) merupakan populasi sampel bagi penelitian ini. Kemudian secara *purposive*, subjek dipilih berdasarkan kriteria inklusi sebagai berikut: berusia 12-18 tahun, tinggal di pondok selama penelitian berlangsung, sehat, tidak aktif secara fisik (olahraga <2 kali/minggu), dan tidak obes. Subjek yang melakukan



Gambar 1. Alur Subjek Penelitian.

donor darah, mengalami perdarahan hebat, dan mengonsumsi suplemen atau obat-obatan yang memengaruhi perdarahan dieksklusi dari penelitian ini. Perhitungan sampel menggunakan rumus Elashoff dan Lemeshow dengan power 90% dan tingkat signifikansi 5% (Ahrens & Pigeot, 2016). Pada akhir penelitian diperoleh 18 remaja putri yang sesuai dengan kriteria dan dipilih sebagai subjek penelitian.

Sekitar 12 karung yang berisi beras tinggi besi dikirim sekali ke pondok pesantren Al-Falak di awal penelitian, lalu diterima oleh petugas dapur dan dimasak setiap hari untuk intervensi selama 26 hari. Frekuensi pemberian nasi BionutriFe adalah sebanyak 3 kali sehari dengan porsi estimasi sebanyak 150 g untuk sekali makan. Beras BionutriFe mengandung 50,4 ppm dan 1,51 mg zat besi per 100 g nasi BionutriFe (BB Biogen, 2021). Pada minggu kedua intervensi dilakukan pemantauan asupan makanan dengan *food recall* 24 jam di dua hari berbeda (hari sekolah dan hari Minggu) serta menanyakan status kepulauan santriwati.

Beberapa data variabel dikumpulkan dari data sekunder yang berasal dari penelitian utama. Data sekunder tersebut meliputi karakteristik subjek

seperti nama, usia, kelas, jumlah uang saku, dan tingkat aktivitas fisik, serta data lainnya seperti Indeks Massa Tubuh (IMT), hemoglobin, ferritin serum, dan asupan makanan. Data nilai $VO_2\max$ di awal penelitian atau sebelum intervensi juga didapatkan dari penelitian utama, namun nilai $VO_2\max$ di akhir penelitian didapatkan dengan pengukuran langsung setelah intervensi.

Data karakteristik subjek dikumpulkan berdasarkan pengisian kuesioner pada awal penelitian. Asupan makanan ditanyakan kepada subjek menggunakan *food recall* 2x24 jam (hari libur dan hari sekolah) untuk mendapatkan rata-rata harian dari asupan energi, karbohidrat, protein, lemak, besi, kalsium, folat, vitamin B12, vitamin A, dan vitamin C. Pengukuran antropometri seperti berat badan dan tinggi badan menggunakan timbangan berat badan dengan ketelitian 0,1 kg dan *microtoise* dengan ketelitian 0,1 cm. Pengukuran tersebut dilakukan untuk menghitung IMT. Data aktivitas fisik dari pengisian formulir dihitung berdasarkan WHO/FAO/UNU (WHO *et al.*, 2004). Pengambilan darah dilakukan oleh tenaga medis dan setelahnya dianalisa di laboratorium untuk mendapatkan kadar hemoglobin dan serum ferritin.

Untuk menilai kebugaran, dilakukan tes *beep* yang merupakan tes lari bolak-balik sepanjang 20 m. Pelari diberhentikan jika menyerah atau sebanyak 2 kali gagal mencapai titik yang ditentukan saat bip berbunyi. Jumlah level dan balikan yang dicapai setelah lari dicatat pada formulir dan digunakan untuk menentukan $VO_2\max$ dengan menggunakan rumus Matsuzaka (Matsuzaka *et al.*, 2004). Rumus Matsuzaka dapat memprediksi nilai $VO_2\max$ pada remaja dengan $r = 0,65-0,90$ (Menezes Júnior *et al.*, 2019). Nilai $VO_2\max$, asupan makanan, IMT/U, dan status besi diukur pada dua waktu yaitu sekitar 1 bulan sebelum pemberian beras tinggi besi dimulai dan setelah pemberian beras yaitu pada minggu akhir intervensi.

Pengolahan dan analisis data menggunakan perangkat lunak NutriSurvey 2007, Microsoft Office Excel 2007, WHO AnthroPlus, dan IBM SPSS Statistics 21. Uji normalitas data yang digunakan adalah Shapiro-Wilk, sementara uji beda yang dipilih adalah *Paired t-test* atau uji *Wilcoxon Signed Ranks*. Segala perlakuan dan

runtutan kegiatan telah diketahui dan disetujui oleh Komisi Etik Penelitian yang Melibatkan Subjek Manusia dari Institut Pertanian Bogor dengan Nomor: 335/IT3.KEPMSM-IPB/SK2021.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik santriwati pada awal penelitian disajikan pada tabel 1. Rata-rata santriwati yang berpartisipasi dalam penelitian ini merupakan remaja awal (14 tahun), dan duduk di bangku madrasah tsanawiyah kelas 8. Tingkat kebugaran beragam antar umur. Seiring bertambahnya umur, maka nilai konsumsi oksigen maksimal meningkat pada remaja putri (Armstrong and Welsman, 2019).

Sebagian besar santriwati memiliki uang saku harian kurang dari Rp.10.000. Santriwati dapat secara mandiri memilih dan membeli makanan utama atau selingan dari luar pondok dengan uang saku yang didapatkan dari orang tua. Akses terhadap makanan bergizi merupakan salah satu faktor yang berkaitan dengan keadaan ekonomi (Lord *et al.*, 2015). Keadaan ekonomi telah diteliti

berhubungan dengan kebugaran remaja (Bai *et al.*, 2016; Wolfe *et al.*, 2019).

Tingkat aktivitas fisik santriwati tergolong sedentari. Sebagian besar waktu dihabiskan oleh santriwati dengan melakukan aktivitas ringan dan melibatkan duduk dalam waktu berjam-jam seperti beribadah, mengaji, menghafal, dan belajar. Sementara itu, di hari Minggu terkadang santriwati melakukan senam pagi. Remaja yang memiliki tingkat aktivitas sedentari memiliki tingkat kebugaran yang lebih rendah dibandingkan remaja yang aktif (Mateo-Orcajada *et al.*, 2022). Di sisi lain, sebanyak 22,22% santriwati dalam kondisi kelebihan berat badan (*overweight*). Konsumsi makanan tinggi energi yang tidak diimbangi dengan pengeluaran energi melalui aktivitas fisik dapat berisiko terjadinya kelebihan berat badan (Das *et al.*, 2017). Kelebihan berat badan dapat meningkatkan risiko anemia dan menurunkan kebugaran (Mchiza *et al.*, 2018).

Sekitar separuh dari total subjek mengalami defisiensi besi (55,56%) dan setengah dari proporsi tersebut tidak hanya mengalami defisiensi besi namun juga anemia (27,78%). Dibandingkan dengan hasil penelitian pada santriwati Sunda oleh Rahfiludin *et al.* (2021), prevalensi anemia defisiensi besi pada penelitian ini 5,5% lebih tinggi (Rahfiludin *et al.*, 2021). Hal ini mungkin disebabkan karena jumlah subjek dalam penelitian ini lebih sedikit.

Defisiensi besi dapat disebabkan karena kurangnya asupan zat besi (Huang *et al.*, 2020). Asupan zat besi santriwati tergolong defisit pada awal penelitian. Defisit asupan zat besi juga teramati pada penelitian santriwati di pondok pesantren Tasikmalaya (Rahfiludin *et al.*, 2021). Lingkungan pertemanan dapat memengaruhi pola konsumsi remaja ke arah negatif (Ragelienė & Grønhøj, 2020). Salah satunya yaitu mengarah pada konsumsi makanan yang tinggi energi namun kurang zat gizi mikro. Selain itu, kurangnya asupan zat besi juga dapat dipengaruhi oleh penyediaan menu makanan dari sekolah yang kurang seimbang seperti rendahnya penyediaan produk hewani, sayur-sayuran, dan buah-buahan (Chen *et al.*, 2018; Nicholas *et al.*, 2020).

Median konsumsi nasi BionutriFe oleh santriwati adalah 407 g/hari dengan kandungan zat besi sebanyak 6,15 mg/hari. Berdasarkan jumlah

Tabel 1. Karakteristik Awal Subjek

Karakteristik atau Intervensi	Jumlah ¹ (n=18)
Umur (tahun)	
12–13	4 (22,2)
14–15	8 (44,4)
16–18	6 (33,3)
Kelas	
Kelas VII	4 (22,2)
Kelas VIII	6 (33,3)
Kelas IX	2 (11,1)
Kelas X	1 (5,6)
Kelas XI	3 (16,7)
Kelas XII	2 (11,1)
Jumlah uang saku (harian)	
< Rp10.000,00	11 (61,1)
≥ Rp10.000,00	7 (38,9)
Tingkat aktivitas fisik	1,3 ± 0,1
Overweight²	4 (22,2)
Anemia³	5 (27,8)
Defisiensi besi⁴	10 (55,6)
Anemia defisiensi besi	5 (27,8)

¹Nilai adalah rata-rata ± standard deviasi atau n (%). ²IMT/U >+1 sampai ≤+2 SD. ³Hemoglobin <12g/dL. ⁴Ferritin serum <15 µg/L.

Tabel 2. Asupan Zat Gizi Harian, Status Gizi, Status Besi, dan Kebugaran

Hasil	Sebelum Intervensi ¹	Setelah Intervensi ¹	<i>p</i>
Asupan gizi/hari			
Energi (kkal)	2.156,6 ± 764,4	1.579,7 ± 374,5	0,001*
Karbohidrat (g)	260,4 ± 88,7	189,2 ± 50,9	0,001*
Protein (g)	57,4 ± 21,4	45,6 ± 12,2	0,017*
Lemak (g)	96,4 ± 40,7	70,1 ± 17,1	0,008*
Besi (mg)	6,7 ± 2,9	9,7 ± 1,9	0,000*
Kalsium (mg)	271,1 (140, 422)	82,2 (61, 103)	0,001*
Asam folat (µg)	163,9 ± 86,1	78,1 ± 45,9	0,001*
Vitamin B12 (µg)	2,7 (1, 3)	2,7 (2, 3)	0,420
Vitamin A (µg)	325,5 ± 168,1	203,8 ± 144,4	0,008*
Vitamin C (mg)	5,0 (3, 10)	5,4 (2, 8)	0,528
IMT/U (skor Z)	0,6 ± 0,8	0,6 ± 0,7	0,058
Kadar hemoglobin (g/dL)	12,3 ± 1,1	11,9 ± 1,2	0,012*
Kadar ferritin serum (µg/L)	9,9 (7, 22)	10,9 (7, 31)	0,094
VO₂max (ml/kg/menit)	36,1 (35, 41)	36,4 (34, 39)	0,018*

¹Nilai disajikan dalam bentuk rata-rata ± standard deviasi atau median (jangkauan interkuartil). *Berbeda signifikan (*p* < 0,05) dengan Paired t-test atau Wilcoxon Signed Ranks Test.

asupan zat besi tersebut, nasi BionutriFe telah menyumbang 76,9% angka kebutuhan besi bagi kelompok remaja putri berusia 12 tahun (AKG besi = 8 mg) dan 41% AKG besi bagi remaja yang berusia 13-18 tahun (AKG besi = 15 mg). Dengan demikian, konsumsi zat besi santriwati yang berusia 12 tahun menjadi tergolong cukup karena di atas 70% AKG.

Pada tabel 2, ditampilkan bahwa mayoritas zat gizi setelah intervensi berubah menjadi lebih rendah (*p* < 0,05) dibandingkan sebelum intervensi, kecuali pada besi, kobalamin (vitamin B12), dan asam askorbat (vitamin C). Peningkatan secara signifikan terjadi hanya pada asupan zat besi setelah konsumsi nasi BionutriFe (*p* = 0,000).

Penurunan asupan beberapa zat gizi disebabkan oleh penurunan konsumsi terutama konsumsi jajanan. Intervensi beras tinggi besi berlangsung saat periode ujian akademik. Ujian sekolah dapat menyebabkan stress dan membatasi waktu untuk makan sehingga mengganggu pola makan santriwati (Michels et al., 2019).

Status besi yang diamati pada penelitian ini yakni hemoglobin dan ferritin serum. Hasil intervensi pada kedua biomarker besi tersebut disajikan pada tabel 2. Terdapat penurunan hemoglobin setelah pemberian beras tinggi

Fe (*p* = 0,012) dari kategori normal menjadi anemia tingkat ringan. Penurunan hemoglobin dimungkinkan karena penurunan jumlah konsumsi selama intervensi. Apalagi protein, asam folat, dan vitamin A yang penting untuk membantu penyerapan zat besi, produksi sel darah merah, dan sintesis hemoglobin mengalami penurunan jumlah konsumsi dalam penelitian ini (Green and Datta Mitra, 2017; Wiseman et al., 2017; Gupta, 2019). Faktor lain di luar intervensi yang tidak diteliti juga secara tidak langsung mungkin berkontribusi terhadap penurunan nilai hemoglobin seperti stress karena penelitian ini berlangsung ketika pandemi Covid-19 dan ujian akademik (Subbalakshmi dan Sunandha, 2017; Kim et al., 2019).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, VO₂max dapat dibatasi oleh kadar hemoglobin yang rendah karena peran pentingnya dalam mengangkut oksigen (DiPietro et al., 2021). Meskipun demikian, penelitian lain tidak menemukan hubungan antara konsentrasi hemoglobin dengan VO₂max, terutama pada anak perempuan (Gligoroska et al., 2020). Lebih jauh lagi, penelitian sebelumnya menunjukkan adanya hubungan antara konsumsi oksigen puncak dengan total massa hemoglobin dan bukan konsentrasi hemoglobin (Otto et al., 2017).

Di sisi lain, status besi lainnya yakni ferritin serum mengalami peningkatan namun tidak signifikan. Meskipun menemukan peningkatan ferritin yang tidak signifikan, penelitian lain membuktikan adanya hubungan yang positif antara perubahan simpanan besi tubuh dengan perubahan asupan zat besi (Alaunyte *et al.*, 2015). Dengan demikian, peningkatan ferritin serum pada penelitian ini dapat disebabkan oleh peningkatan rata-rata asupan zat besi akibat pemberian beras tinggi besi sehingga meningkatkan simpanan besi tubuh, namun masih belum cukup menghasilkan perubahan yang signifikan karena jangka waktu pengamatan yang pendek. Ferritin penting dalam penyediaan besi untuk enzim-enzim yang terlibat pada metabolisme otot dan secara tidak langsung berkaitan dengan penggunaan oksigen oleh otot (DellaValle, 2011; Gaffney-Stomberg and McClung, 2012). Penelitian terdahulu menemukan adanya hubungan antara nilai $VO_2\max$ dengan keadaan defisiensi besi yang ditandai dengan ferritin serum pada anak sekolah usia 11-14 tahun (Wang *et al.*, 2009).

Kebugaran remaja putri dapat diukur dengan menggunakan volume konsumsi oksigen maksimal atau $VO_2\max$. Tabel 2 menunjukkan bahwa santriwati memiliki kebugaran yang tergolong baik di awal penelitian dan setelah berlangsungnya pemberian beras intervensi. Nilai median $VO_2\max$ mengalami sedikit peningkatan yang bermakna setelah pemberian beras tinggi zat besi ($p = 0,018$).

Median $VO_2\max$ setelah intervensi menggambarkan kebugaran yang baik dengan nilai 36,35 ml/kg/menit. Menurut suatu meta-analisis, nilai dalam rentang 34,6 hingga 39,5 ml/kg/menit dikaitkan dengan risiko penyakit kardiovaskuler yang rendah pada anak-anak dan remaja (Ruiz *et al.*, 2016). Asupan zat besi merupakan salah satu prediktor yang baik terhadap nilai $VO_2\max$ (Debnath *et al.* 2019). Peningkatan ketersediaan zat besi pada jaringan-jaringan seperti pada ferritin, dapat meningkatkan pemanfaatan oksigen oleh jaringan (Houston *et al.*, 2018).

Sejauh ini, penelitian ini merupakan penelitian pertama di Indonesia yang menunjukkan adanya peningkatan median $VO_2\max$ setelah 4 minggu pemberian beras biofortifikasi besi pada remaja putri. Penelitian sejenis yang meneliti efek

biofortifikasi beras terhadap $VO_2\max$ sangat jarang terutama pada remaja yang bukan atlet. Berbeda dengan hasil penelitian ini, penelitian di Rwandan dengan desain acak terkontrol pada 136 wanita usia reproduktif, menunjukkan bahwa tidak ada peningkatan $VO_2\max$ setelah konsumsi polong hasil biofortifikasi besi melainkan dapat menghambat penurunan $VO_2\max$ pada wanita yang mengalami peningkatan serum ferritin setidaknya 15% setelah intervensi (Luna, 2015). Perbedaan hasil tersebut dapat dijelaskan karena pada penelitian Rwandan terjadi peningkatan berat badan dan IMT setelah mengonsumsi polong tinggi besi sementara dalam penelitian ini menunjukkan tidak ada perubahan IMT/U. Peningkatan berat badan akibat massa lemak tubuh berkorelasi negatif dengan kebugaran (Marcos-Pardo *et al.*, 2020). Meskipun begitu, hasil penelitian lainnya dengan jenis intervensi berbeda yaitu melalui suplementasi oral, mendukung hasil penelitian ini dalam membuktikan manfaat tambahan zat besi terhadap konsumsi oksigen maksimal (Pasricha *et al.*, 2014).

Peningkatan nilai $VO_2\max$ dalam penelitian sebelumnya telah dikaitkan dengan status besi seperti peningkatan kapasitas pengangkutan oksigen melalui kadar hemoglobin serta perbaikan fungsi mitokondria dan pertumbuhan otot yang bergantung dengan ketersediaan zat besi dari simpanan tubuh (Pasricha *et al.*, 2014; Pompano, 2018). Penelitian lain juga menemukan adanya hubungan positif antara asupan karbohidrat dan protein dengan $VO_2\max$ (Pahlavani *et al.*, 2017; Baranauskas *et al.*, 2020; Król *et al.*, 2020; Alwathi Alhayek, 2021).

Di antara faktor-faktor yang diteliti dapat mempengaruhi nilai kebugaran seperti IMT, asupan zat gizi, kadar hemoglobin, dan ferritin, hanya asupan zat besi yang menunjukkan hasil yang sejalan dengan peningkatan kebugaran. Peningkatan $VO_2\max$ pada penelitian ini mungkin berkaitan dengan sintesis mioglobin yang tidak dapat diamati dengan biomarker besi yang dipilih dalam penelitian ini. Tidak hanya hemoglobin, besi juga bertanggung jawab untuk pembentukan mioglobin sebagai protein penerima oksigen di otot (Domínguez *et al.*, 2018; Houston *et al.*, 2018). Ketersediaan besi dalam tubuh yang meningkat membantu pembentukan mioglobin untuk

selanjutnya memperbanyak oksigen yang diterima dan digunakan oleh otot yang aktif sehingga meningkatkan konsumsi oksigen.

Pelaksanaan intervensi beras tinggi besi dilakukan ketika berlangsungnya pandemi Covid-19, ujian sekolah, dan berdekatan dengan bulan Ramadhan. Oleh sebab itu, banyak santriwati yang mengundurkan diri atau tidak dapat berpartisipasi lengkap di tengah intervensi karena sakit dan durasi penelitian berkurang menjadi 26 hari. Selain itu, tes lari tidak dapat dilaksanakan pada akhir intervensi karena acara penyambutan bulan Ramadhan, sehingga dilakukan 4 hari lebih awal. Keterbatasan lainnya adalah penelitian ini hanya mengamati konsentrasi ferritin serum dan hemoglobin untuk menunjukkan status besi dalam tubuh. Selain itu, penelitian ini tidak menggunakan kelompok kontrol, yang memungkinkan adanya peubah lainnya yang dapat mempengaruhi nilai $VO_2\text{max}$ seperti umur.

SIMPULAN DAN SARAN

Terdapat peningkatan kebugaran santriwati setelah intervensi beras tinggi besi selama 4 minggu namun tidak dengan perbaikan status besi. Disarankan untuk melakukan penelitian selanjutnya dengan menambah kelompok kontrol, memperpanjang durasi penelitian, dan menambah biomarker zat besi lain yang terkait dengan kebugaran seperti *soluble transferrin receptor* dan *transferrin saturation*. Selain itu, perhatian terhadap asupan makanan selama masa ujian sekolah dengan memberikan edukasi gizi diperlukan untuk memperoleh manfaat yang optimal dari beras tinggi besi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini memuat sebagian hasil dari penelitian tesis. Penulis berterima kasih yang sebesar-besarnya kepada BB Biogen dari Balitbangtan Kementerian Pertanian Indonesia, Kementerian Riset dan Teknologi/BRIN dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP), serta santriwati dan kepala Yayasan pondok pesantren Al-Falak Bogor yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, W., & Pigeot, I. (2013). *Handbook of epidemiology* (2nd ed.). New York: Springer.
- Alaunyte, I., Stojceska, V., & Plunkett, A. (2015). Iron and the female athlete: a review of dietary treatment methods for improving iron status and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.1186/S12970-015-0099-2>
- Alwathi Alhayek, S. (2021). *The association of dietary protein and vitamin D with body composition and exercise outcomes in cognitively normal older adults* (Disertasi, University of Kansas, Kansas, United States). Diakses dari <https://kuscholarworks.ku.edu/handle/1808/31764>
- Armstrong, N., & Welsman, J. (2019). Development of peak oxygen uptake from 11–16 years determined using both treadmill and cycle ergometry. *European Journal of Applied Physiology*, 119(3), 801–812. <https://doi.org/10.1007/S00421-019-04071-3/TABLES/4>
- Bai, Y., Saint-Maurice, P. F., Welk, G. J., Allums-Featherston, K., & Candelaria, N. (2016). Explaining Disparities in Youth Aerobic Fitness and Body Mass Index: Relative Impact of Socioeconomic and Minority Status. *The Journal of School Health*, 86(11), 787–793. <https://doi.org/10.1111/JOSH.12434>
- [BB Biogen] Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian. (2021). *Data Bioasesabilitas Fe Nasi*. Bogor: BB Biogen.
- Baranauskas, M., Jablonskienė, V., Abaravičius, J. A., & Stukas, R. (2020). Cardiorespiratory Fitness and Diet Quality Profile of the Lithuanian Team of Deaf Women's Basketball Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6749. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186749>
- Chen, Q., Pei, C., & Zhao, Q. (2018). Eating More but Not Better at School? Impacts of Boarding on Students' Dietary Structure and Nutritional Status in Rural Northwestern China. *Sustainability*, 10(8), 2753. <https://doi.org/10.3390/su10082753>
- Das, J. K., Salam, R. A., Thornburg, K. L., Prentice, A. M., Campisi, S., Lassi, Z. S., Koletzko, B., & Bhutta, Z. A. (2017). Nutrition in adolescents: Physiology, metabolism, and nutritional needs. *Annals of the New York Academy of Sciences*,

- 1393(1), 21–33. <https://doi.org/10.1111/nyas.13330>.
- Debnath M, Chatterjee S, Bandyopadhyay A, Datta G, Dey S. (2019). Prediction of athletic performance through nutrition knowledge and practice: a cross-sectional study among young team athletes. *Sport Mont.* 17. doi:10.26773/smj.191012.
- De Moura, F. F., Palmer, A. C., Finkelstein, J. L., Haas, J. D., Murray-Kolb, L. E., Wenger, M. et al. (2014). Are Biofortified Staple Food Crops Improving Vitamin A and Iron Status in Women and Children? New Evidence from Efficacy Trials. *Advances in Nutrition*, 5(5), 568–570. <https://doi.org/10.3945/an.114.006627>
- DellaValle, D. M., & Haas, J. D. (2014). Iron supplementation improves energetic efficiency in iron-depleted female rowers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(6), 1204–1215. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000208>
- DiPietro, L., Bingenheimer, J., Talegawkar, S. A., Sedlander, E., Yilma, H., Pradhan, P., & Rimal, R. (2021). Determinants of work capacity (predicted VO₂max) in non-pregnant women of reproductive age living in rural India. *BMC Public Health*, 21(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S12889-021-10785-X/FIGURES/1>
- Domínguez, R., Sánchez-Oliver, A. J., Mata-Ordoñez, F., Feria-Madueño, A., Grimaldi-Puyana, M., López-Samanes, Á., & Pérez-López, A. (2018). Effects of an Acute Exercise Bout on Serum Hepcidin Levels. *Nutrients*, 10(2), 209. <https://doi.org/10.3390/nu10020209>
- Edelstein, S. (2015). *Life cycle nutrition: An evidence-based approach*. Burlington, Massachusetts: Jones & Bartlett Learning.
- Ekayanti, I., Rimbawan, R., & Kusumawati, D. (2020). Risk Factor of Anemia among Female Students in Darusalam Islamic Boarding School Bogor. *Media Gizi Indonesia*, 15(2), 79–87. <https://doi.org/10.20473/mgi.v15i2.79-87>
- Finkelstein, J. L., Haas, J. D., & Mehta, S. (2017). Iron-biofortified staple food crops for improving iron status: A review of the current evidence. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.01.003>
- Finkelstein, J. L., Mehta, S., Udipi, S. A., Ghugre, P. S., Luna, S. V., Wenger, M. J., Murray-Kolb, L. E., et al. (2015). A Randomized Trial of Iron-Biofortified Pearl Millet in School Children in India. *The Journal of Nutrition*, 145(7), 1576–1581. <https://doi.org/10.3945/jn.114.208009>
- Gaffney-Stomberg E, McClung JP. (2012). Inflammation and diminished iron status: mechanisms and functional outcomes. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 15(6):605–613. doi:10.1097/MCO.0b013e328357f63b.
- Gligoroska JP, Dejanova S, Plavsic J, Manchevska S. 2020. Correlations Between Red Blood Cells' Variables, Cardio-Pysiological and Anthropological Variables in Young Athletes. *PRILOZI.* 41(1):47–55. doi:10.2478/PRILOZI-2020-0022.
- Haas, J. D., Beard, J. L., Murray-Kolb, L. E., del Mundo, A. M., Felix, A., & Gregorio, G. B. (2005). Iron-biofortified rice improves the iron stores of nonanemic Filipino women. *The Journal of Nutrition*, 135(12), 2823–2830. <https://doi.org/10.1093/jn/135.12.2823>
- Haas, J. D., Luna, S. V., Lung'aho, M. G., Wenger, M. J., Murray-Kolb, L. E., Beebe, S., et al. (2016). Consuming Iron Biofortified Beans Increases Iron Status in Rwandan Women after 128 Days in a Randomized Controlled Feeding Trial. *The Journal of Nutrition*, 146(8), 1586–1592. <https://doi.org/10.3945/jn.115.224741>
- Houston, B., Hurrie, D., Graham, J., Perija, B., Rimmer, E., Rabbani, R., et al. (2018). Efficacy of iron supplementation on fatigue and physical capacity in non-anaemic iron-deficient adults: A systematic review of randomised controlled trials. *BMJ Open*, 8, e019240. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-019240>
- Huang, L. N., Wang, H. J., Wang, Z. H., Zhang, J. G., Jia, X. F., Zhang, B., & Ding, G. Q. (2020). Association of Red Meat Usual Intake with Serum Ferritin and the Risk of Metabolic Syndrome in Chinese Adults: A Longitudinal Study from the China Health and Nutrition Survey. *Biomedical and Environmental Sciences*, 33(1), 19–29. <https://doi.org/10.3967/bes2020.003>
- Huldani, H. A. (2020). Differences in VO₂ Max Based on Age, Gender, Hemoglobin Levels, and Leukocyte Counts in Hajj Prospective Pilgrims in Hulu Sungai Tengah Regency, South Kalimantan -. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(4), 09–14.
- [Kemenkes RI] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2018). *Riset Kesehatan Dasar (RISKESDAS) 2018*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Kementerian Kesehatan RI.
- Kim, Y. G., Moon, H., Kim, S. Y., Lee, Y. H., Jeong, D. W., Kim, K., et al. (2019). Inevitable

- isolation and the change of stress markers in hemodialysis patients during the 2015 MERS-CoV outbreak in Korea. *Scientific Reports 2019 9:1*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41964-x>
- Król, W., Price, S., Śliż, D., Parol, D., Konopka, M., Mamcarz, A., Welnicki, M., & Braksator, W. (2020). A Vegan Athlete's Heart—Is It Different? Morphology and Function in Echocardiography. *Diagnostics*, 10(7), 477. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10070477>
- Lockyer, S., White, A., & Buttriss, J. L. (2018). Biofortified crops for tackling micronutrient deficiencies – what impact are these having in developing countries and could they be of relevance within Europe? *Nutrition Bulletin*, 43(4), 319–357. <https://doi.org/10.1111/nbu.12347>
- Lopez, A., Cacoub, P., Macdougall, I. C., & Peyrin-Biroulet, L. (2016). Iron deficiency anaemia. *Lancet (London, England)*, 387(10021), 907–916. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60865-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60865-0)
- Lord, S., Manlhiot, C., Tyrrell, P. N., Dobbin, S., Gibson, D., Chahal, N., Stearne, K., Fisher, A., & McCrindle, B. W. (2015). Lower socioeconomic status, adiposity and negative health behaviours in youth: a cross-sectional observational study. *BMJ Open*, 5(5), 8291. <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2015-008291>
- Luna, S. (2015). *The Effects Of Iron-Biofortified Beans On Iron Status, Physical Performance, And Physical Activity In Rwandan Women* (Disertasi, Cornell University, Ithaca, New York). Diakses dari <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/41029>
- Mahan, L. K., & Raymond, J. L. (2017). *Krause's food & the nutrition care process* (14th ed.). Canada: Elsevier.
- Marcos-Pardo, P. J., González-Gálvez, N., Espeso-García, A., Abelleira-Lamela, T., López-Vivancos, A., & Vaquero-Cristóbal, R. (2020). Association among Adherence to the Mediterranean Diet, Cardiorespiratory Fitness, Cardiovascular, Obesity, and Anthropometric Variables of Overweight and Obese Middle-Aged and Older Adults. *Nutrients*, 12(9), 2750. <https://doi.org/10.3390/nu12092750>
- Mateo-Orcajada, A., González-Gálvez, N., Abenza-Cano, L., & Vaquero-Cristóbal, R. (2022). Differences in Physical Fitness and Body Composition Between Active and Sedentary Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Youth and Adolescence 2021 51:2*, 51(2), 177–192. <https://doi.org/10.1007/S10964-021-01552-7>
- Matsuzaka, A., Takahashi, Y., Yamazoe, M., Kumakura, N., Ikeda, A., Wilk, B., & Bar-Or, O. (2004). Validity of the Multistage 20-M Shuttle-Run Test for Japanese Children, Adolescents, and Adults. *Pediatric Exercise Science*, 16(2), 113–125. <https://doi.org/10.1123/pes.16.2.113>
- Mchiza, Z. J., Parker, W., Sewpaul, R., Job, N., Chola, L., Mutyambizi, C., Sithole, M., Stokes, A., & Labadarios, D. (2018). Understanding the determinants of hemoglobin and iron status: Adolescent–adult women comparisons in SANHANES-1. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1416(1), 31–47. <https://doi.org/10.1111/nyas.13528>
- Menezes Júnior, F. J. de, Jesus, Í. C. de, Leite, N., Menezes Júnior, F. J. de, Jesus, Í. C. de, & Leite, N. (2019). Predictive Equations of Maximum Oxygen Consumption by Shuttle Run Test in Children and Adolescents: A Systematic Review. *Revista Paulista de Pediatria*, 37(2), 241–251. <https://doi.org/10.1590/1984-0462;2019;37;2;00016>
- Michels, N., Man, T., Vinck, B., & Verbeyst, L. (2019). Dietary changes and its psychosocial moderators during the university examination period. *European Journal of Nutrition 2019 59:1*, 59(1), 273–286. <https://doi.org/10.1007/S00394-019-01906-9>
- Myhre, K. E., Webber, B. J., Cropper, T. L., Tchandja, J. N., Ahrendt, D. M., Dillon, C. A., et al. (2016). Prevalence and Impact of Anemia on Basic Trainees in the US Air Force. *Sports Medicine - Open*, 2, 23. <https://doi.org/10.1186/s40798-016-0047-y>
- Nicholaus, C., Martin, H. D., Kassim, N., Matemu, A. O., & Kimiywe, J. (2020). Dietary Practices, Nutrient Adequacy, and Nutrition Status among Adolescents in Boarding High Schools in the Kilimanjaro Region, Tanzania. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2020, e3592813. <https://doi.org/10.1155/2020/3592813>
- Otto JM, Montgomery HE, Richards T. 2013. Haemoglobin concentration and mass as determinants of exercise performance and of surgical outcome. *Extreme Physiol Med*. 2:33. doi:10.1186/2046-7648-2-33.
- Pahlavani, N., Entezari, M. H., Nasiri, M., Miri, A., Rezaie, M., Bagheri-Bidakhvidi, M., & Sadeghi, O. (2017). The effect of l-arginine supplementation on body composition and

- performance in male athletes: A double-blinded randomized clinical trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71(4), 544–548. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.266>
- Pasricha, S.-R., Low, M., Thompson, J., Farrell, A., & De-Regil, L.-M. (2014). Iron Supplementation Benefits Physical Performance in Women of Reproductive Age: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Nutrition*, 144(6), 906–914. <https://doi.org/10.3945/jn.113.189589>
- Pompano, L. M. (2018). *Examining the Role of Iron and Exercise in Improving Iron Status and Physical Performance in Iron-depleted Chinese Women*. <https://doi.org/10.7298/X4736P4T>
- Purwandari, E. S. (2018). Comparison Anemia In Adolescent Girls Who Stay At Pondok Pesantren And At Home In Madrasah Aliyah Pondok Pesantren Darussalam Kepung Kediri. *Jurnal Ilmiah Kebidanan (Scientific Journal of Midwifery)*, 4(2), 114–119. <https://doi.org/10.33023/jikeb.v4i2.191>
- Ragelienė, T., & Grønhoj, A. (2020). The influence of peers' and siblings' on children's and adolescents' healthy eating behavior. A systematic literature review. *Appetite*, 148, 104592. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104592>
- Rahfiludin, M. Z., Arso, S. P., Joko, T., Asna, A. F., Murwani, R., & Hidayanti, L. (2021). Plant-based Diet and Iron Deficiency Anemia in Sundanese Adolescent Girls at Islamic Boarding Schools in Indonesia. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2021, e6469883. <https://doi.org/10.1155/2021/6469883>
- Ruiz, J. R., Cavero-Redondo, I., Ortega, F. B., Welk, G. J., Andersen, L. B., & Martinez-Vizcaino, V. (2016). Cardiorespiratory fitness cut points to avoid cardiovascular disease risk in children and adolescents; what level of fitness should raise a red flag? A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(23), 1451–1458. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095903>
- Scott, S. P., De Souza, M. J., Koehler, K., & Murray-Kolb, L. E. (2017). Combined Iron Deficiency and Low Aerobic Fitness Doubly Burden Academic Performance among Women Attending University. *The Journal of Nutrition*, 147(1), 104–109. <https://doi.org/10.3945/jn.116.240192>
- Subbalakshmi, N. K., & Sunandha, S. (2017). Influence of perceived stress on hemoglobin concentration. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 10(1), 61–64. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2017.00015.4>
- Syahfitri, W., Damastuti, E., Adventini, N., Atmodjo, D. P. D., Kusmartini, I., Kurniawati, S., Lestiani, D. D., & Santoso, M. (2018). Essential Minerals of Rice in West Java Indonesia and Its Daily Intake Estimation. *Atom Indonesia*. <https://doi.org/10.17146/aij.2018.922>
- Tako, E. (2018). Fe Deficiency, Dietary Bioavailability and Absorption. *Nutrients*. <https://doi.org/10.3390/BOOKS978-3-03897-231-0>
- Wang, J., Huo, J.-S., Sun, J., & Ning, Z.-X. (2009). Physical Performance of Migrant Schoolchildren with Marginal and Severe Iron Deficiency in the Suburbs of Beijing. *Biomedical and Environmental Sciences*, 22(4), 333–339. [https://doi.org/10.1016/S0895-3988\(09\)60064-7](https://doi.org/10.1016/S0895-3988(09)60064-7)
- Wolfe, A. M., Lee, J. A., & Laurson, K. R. (2020). Socioeconomic status and physical fitness in youth: Findings from the NHANES National Youth Fitness Survey. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1713688>, 38(5), 534–541. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1713688>
- WHO. (2015). *The Global Prevalence of Anaemia in 2011*. Geneva: World Health Organization.
- WHO. (2021). WHO Global Anaemia estimates, 2021 Edition. Retrieved June 20, 2022, from World Health Organization website: https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/anaemia_in_women_and_children
- WHO, FAO & UNU (Eds.). (2004). *Human energy requirements: Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation, Rome 17-24 October 2001*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.