

Efektivitas *Neuromuscular Dynamic Warm-Up* terhadap Penurunan Risiko Cedera Muskuloskeletal dan Peningkatan Performa Kebugaran pada Siswa Sekolah Dasar Jayapura

^{1*}Abdul Bashir Nur Hasani, ²Muhammad Teguh Prasetyo, ³Swandika Pinem, ⁴Fachrun Nisa Sofiyah Khasanah, ⁵Muhammad Fitrah Mubarak, ⁶Pamungkas Yulian Effendi

^{1*, 2, 3, 4, 5, 6}Faculty of Sports Science, Universitas Cenderawasih, Jl. Kamp Wolker, Yabansai, Kec. Heram, Kota Jayapura, Papua, Indonesia. Postal Code: 99224.

*Correspondence e-mail: abdbshr96@gmail.com

Received: 05 July 2026; Revised: 18 August 2026; Online First: 28 August 2026; Published: 31 August 2026

Abstrak

Kesiapan neuromuskular yang kurang memadai berpotensi mengganggu kontrol gerak siswa sekolah dasar, sedangkan bukti penerapan pemanasan dinamis di Jayapura terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan keseimbangan dinamis sebagai indikator fungsional terkait risiko cedera muskuloskeletal dan performa kebugaran setelah program *neuromuscular dynamic warm-up*. Penelitian menggunakan desain praeksperimental satu kelompok pretest-pascates tanpa kelompok kontrol dengan 30 siswa laki-laki kelas V yang dipilih secara purposif. Intervensi berlangsung 8–10 menit, dua kali seminggu selama enam minggu (12 pertemuan). Keseimbangan dinamis, fleksibilitas, daya ledak tungkai, dan daya tahan kardiorespirasi diukur menggunakan Y-Balance Test, *sit-and-reach test*, *vertical jump test*, dan PACER. Data dianalisis menggunakan uji *t* berpasangan. Skor Y-Balance kanan meningkat dari 78,53 menjadi 85,34 dan kiri dari 78,93 menjadi 85,61; fleksibilitas meningkat 1,51 cm dan lompatan vertikal 3,23 cm (seluruhnya $p < 0,001$). PACER tidak meningkat signifikan ($p = 0,099$). Program berasosiasi dengan tiga komponen, tetapi penurunan cedera belum terbukti secara langsung. **Kata Kunci:** pemanasan dinamis neuromuskular; keseimbangan dinamis; risiko cedera muskuloskeletal; kebugaran jasmani; siswa sekolah dasar

The Effectiveness of *Neuromuscular Dynamic Warm-Up* on Reducing Musculoskeletal Injury Risk and Improving Fitness Performance in Elementary School Students in Jayapura

Abstract

Inadequate neuromuscular readiness may compromise movement control among elementary school students, while evidence from Jayapura remains limited. This study examined changes in dynamic balance, a functional indicator associated with musculoskeletal injury risk, and fitness following a *neuromuscular dynamic warm-up* program. A pre-experimental, one-group pretest-posttest study involved 30 purposively selected fifth-grade boys without a control group. Participants performed 8–10-minute warm-ups twice weekly for six weeks (12 sessions). Dynamic balance, flexibility, lower-limb power, and cardiorespiratory endurance were assessed using the Y-Balance Test, *sit-and-reach test*, *vertical jump test*, and PACER, respectively. Paired-samples *t*-tests compared measurements. Right and left Y-Balance scores increased from 78.53 to 85.34 and from 78.93 to 85.61, respectively; flexibility improved by 1.51 cm and jump height by 3.23 cm (all $p < .001$). PACER changes were not significant ($p = .099$). The program is associated with three components, but injury reduction was not demonstrated.

Keywords: *neuromuscular dynamic warm-up*; dynamic balance; musculoskeletal injury risk; physical fitness; elementary school students

How to Cite: Hasani, A. B. N., Prasetyo, M. T., Pinem, S., Khasanah, F. N. S., Mubarak, M. F., & Effendi, P. Y. (2026). Efektivitas *Neuromuscular Dynamic Warm-Up* terhadap Penurunan Risiko Cedera Muskuloskeletal dan Peningkatan Performa Kebugaran pada Siswa Sekolah Dasar Jayapura. *Discourse of Physical Education*, 5(2), 333-349. <https://doi.org/10.36312/dpe.v5i2.6858>



<https://doi.org/10.36312/dpe.v5i2.6858>

Copyright© 2026, Hasani et al

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Kebugaran jasmani pada anak usia sekolah dasar merupakan fondasi penting bagi tumbuh kembang motorik, kesehatan fisik jangka panjang, serta kesiapan anak dalam mengikuti berbagai bentuk aktivitas fisik, baik dalam pembelajaran Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan (PJOK) maupun aktivitas bermain dan olahraga di luar sekolah. Tinjauan sistematis dan meta-analisis terhadap intervensi latihan berbasis sekolah menunjukkan bahwa program aktivitas fisik yang terstruktur dapat meningkatkan berbagai komponen kebugaran jasmani anak dan remaja (Wu et al., 2023). Pada masa ini, anak berada dalam fase perkembangan neuromuskular yang pesat, sehingga stimulasi gerak yang tepat berperan penting dalam perkembangan kontrol motorik, keseimbangan, kekuatan, dan daya tahan tubuhnya. Namun, aktivitas fisik yang melibatkan gerakan cepat dan eksplosif, seperti berlari, melompat, serta mengubah arah, memerlukan kesiapan neuromuskular yang memadai agar anak mampu bergerak secara terkendali dan aman. Oleh karena itu, persiapan gerak melalui pemanasan yang terstruktur menjadi penting dalam pembelajaran PJOK.

Risiko cedera muskuloskeletal pada anak usia sekolah dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kemampuan kontrol neuromuskular, keseimbangan dinamis, dan stabilitas sendi ketika melakukan gerakan eksplosif. Tinjauan sistematis dan meta-analisis menunjukkan bahwa program pemanasan terstruktur dapat menurunkan insiden cedera olahraga pada anak dan remaja dibandingkan dengan pemanasan biasa atau tanpa program pencegahan khusus (Ding et al., 2022). Sejalan dengan temuan tersebut, sebuah uji klinis acak berkelompok (*cluster randomized controlled trial*) pada siswa sekolah dasar di Tiongkok menunjukkan bahwa program pemanasan neuromuskular selama 13 minggu dapat menurunkan kejadian cedera olahraga di sekolah dibandingkan dengan pemanasan standar (Ding et al., 2023). Efektivitas serupa juga ditunjukkan pada sepak bola usia anak, di mana pemanasan berbasis neuromuskular yang dijalankan pelatih terbukti signifikan dalam menurunkan insiden cedera akut ekstremitas bawah nonkontak (Hilska et al., 2021). Meta-analisis terhadap program FIFA 11+ Kids melaporkan penurunan risiko cedera keseluruhan sebesar 48% dibandingkan dengan pemanasan konvensional (Yang et al., 2022). Tinjauan sistematis Ramos et al. (2024), juga melaporkan manfaat program FIFA 11+ Kids dalam pencegahan cedera pada pemain sepak bola anak.

Pemanasan merupakan bagian penting dari persiapan fisiologis dan neuromuskular sebelum aktivitas fisik. Dalam pembelajaran PJOK, pemanasan perlu dirancang secara sistematis agar gerakan yang diberikan sesuai dengan karakteristik usia, kemampuan motorik, dan tuntutan aktivitas inti siswa. Secara fisiologis, pemanasan bertujuan meningkatkan suhu otot, mobilitas sendi, dan kesiapan sistem saraf-otot sebelum melakukan aktivitas dengan intensitas lebih tinggi. Tinjauan sistematis terhadap pengaruh pemanasan pada performa kebugaran anak usia sekolah menemukan bahwa pemanasan dinamis atau spesifik memberikan perbaikan yang lebih konsisten terhadap kecepatan dan kekuatan dibandingkan pemanasan pasif atau tanpa pemanasan, meskipun pengaruhnya terhadap daya tahan dan fleksibilitas masih memerlukan kajian lebih lanjut (Fernandez-Agullo & Merino-Marban, 2022). Berdasarkan temuan tersebut, pendekatan *neuromuscular dynamic warm-up* menjadi salah satu alternatif pemanasan yang mengintegrasikan aktivasi otot, mobilisasi sendi secara dinamis, serta latihan kontrol gerak untuk mendukung kesiapan fisik dan neuromuskular sebelum aktivitas utama.

Bukti efektivitas pemanasan neuromuskular dalam pencegahan cedera semakin kuat melalui penelitian eksperimental pada populasi olahraga anak. Uji coba terkontrol acak berkelompok yang melibatkan pemain sepak bola anak usia 7–13 tahun menunjukkan bahwa program FIFA 11+ Kids mampu menurunkan angka cedera keseluruhan hingga 57% dibandingkan dengan kelompok yang melakukan pemanasan biasa (Al Attar et al., 2023). Penelitian multinasional terhadap 3.895 pemain sepak bola anak juga melaporkan penurunan angka cedera keseluruhan sebesar 48% setelah penerapan program 11+ Kids dibandingkan dengan pemanasan konvensional (Rössler et al., 2018). Meskipun sebagian besar bukti empiris tersebut berasal dari konteks olahraga kompetitif, prinsip fisiologis yang mendasarinya, yakni pengembangan kontrol neuromuskular, stabilitas sendi, dan kesiapan gerak, berpotensi diterapkan dalam pembelajaran PJOK dengan penyesuaian terhadap karakteristik siswa dan lingkungan sekolah. Namun, keberhasilan penerapan program tidak hanya ditentukan oleh jenis latihan, tetapi juga oleh kepatuhan pelaksanaan, dukungan pelaksana, ketersediaan sumber daya, dan kesesuaian program dengan konteks penerapannya (Lutz et al., 2024).

Selain potensinya dalam pencegahan cedera, program pemanasan berbasis neuromuskular juga dapat memberikan manfaat terhadap komponen kebugaran jasmani anak usia sekolah dasar. Penelitian terhadap 55 siswa sekolah dasar yang menerima intervensi FIFA 11+ for Kids selama delapan minggu menunjukkan perbaikan yang signifikan pada fleksibilitas dan daya tahan otot perut dibandingkan dengan kelompok kontrol (Tseng et al., 2021). Penelitian Faigenbaum et al. (2011) terhadap 40 siswa sekolah dasar juga menunjukkan bahwa latihan neuromuskular terintegrasi yang diberikan dua kali per minggu selama delapan minggu dalam pembelajaran pendidikan jasmani dapat meningkatkan beberapa indikator kebugaran, termasuk performa lompatan dan daya tahan otot. Selanjutnya, Rössler et al. (2016) melaporkan bahwa program FIFA 11+ Kids dapat memberikan manfaat terhadap performa motorik anak usia 7–12 tahun. Temuan tersebut didukung oleh tinjauan sistematis Lin et al. (2022), yang menunjukkan bahwa latihan neuromuskular terintegrasi berbasis sekolah berpotensi memberikan peningkatan lebih baik pada kontrol postural, keterampilan gerak dasar, dan kekuatan otot dibandingkan dengan pembelajaran pendidikan jasmani konvensional. Meta-analisis terbaru pada atlet muda juga melaporkan peningkatan keseimbangan dinamis dan performa lompatan setelah latihan neuromuskular terintegrasi, meskipun besarnya adaptasi dapat berbeda menurut karakteristik populasi dan program latihan (Wan et al., 2025). Secara keseluruhan, bukti tersebut menunjukkan bahwa program pemanasan neuromuskular yang dilakukan secara teratur berpotensi memberikan manfaat kebugaran secara kumulatif, bukan hanya meningkatkan kesiapan gerak sesaat sebelum aktivitas fisik.

Salah satu indikator objektif yang banyak digunakan untuk menilai kontrol neuromuskular dan keseimbangan dinamis ekstremitas bawah adalah Y-Balance Test (YBT), yaitu tes keseimbangan dinamis satu kaki yang menilai kemampuanjangkauan kaki pada tiga arah: anterior, posteromedial, dan posterolateral. Tinjauan sistematis dan meta-analisis menunjukkan bahwa YBT memiliki reliabilitas yang baik untuk mengevaluasi kontrol neuromuskular dinamis, tetapi kemampuan skor YBT dalam memprediksi cedera tidak selalu konsisten pada berbagai populasi (Plisky et al., 2021). Penelitian pada 188 siswa kelas I–V sekolah dasar juga menunjukkan bahwa YBT dapat digunakan untuk mengukur keseimbangan dinamis anak dengan

reliabilitas yang bervariasi dari sedang hingga baik (Faigenbaum et al., 2014). Selain itu, penelitian Schwiertz et al. (2020) telah mengembangkan nilai referensi YBT berdasarkan usia dan jenis kelamin pada anak dan remaja berusia 10–17 tahun, sehingga menegaskan pentingnya karakteristik populasi dalam interpretasi hasil pengukuran. Penelitian Sember et al. (2020) turut mendukung pentingnya penggunaan instrumen keseimbangan yang reliabel pada anak praremaja, meskipun penelitian tersebut mengevaluasi sejumlah tes keseimbangan dan bukan validitas prediktif YBT terhadap cedera secara khusus. Dengan demikian, dalam penelitian ini YBT digunakan sebagai indikator fungsional kontrol keseimbangan dinamis yang berkaitan dengan faktor risiko cedera ekstremitas bawah, bukan sebagai ukuran langsung kejadian atau penurunan insiden cedera muskuloskeletal.

Adapun komponen kebugaran jasmani lain yang turut menjadi perhatian dalam penelitian ini, yaitu daya tahan kardiorespirasi, daya ledak otot tungkai, dan fleksibilitas, diukur menggunakan tes lapangan yang sesuai dengan karakteristik kemampuan fisik anak. Daya tahan kardiorespirasi diukur menggunakan tes lari bolak-balik 20 meter (*20-meter shuttle run test*/PACER) sebagai indikator kebugaran kardiorespirasi (Nevill et al., 2021), daya ledak otot tungkai menggunakan *vertical jump test*, serta fleksibilitas menggunakan *sit-and-reach test*. Penggunaan tes lari bolak-balik 20 meter dan tes duduk-jangkau dalam penilaian kebugaran anak juga didukung oleh penelitian Zhang et al. (2021), yang mengembangkan standar referensi kebugaran jasmani berdasarkan usia dan jenis kelamin pada anak dan remaja. Kombinasi instrumen tersebut memungkinkan evaluasi yang lebih menyeluruh terhadap perubahan kemampuan keseimbangan dinamis dan komponen kebugaran jasmani setelah intervensi pemanasan neuromuskular.

Meskipun penelitian internasional telah menunjukkan manfaat program pemanasan neuromuskular terhadap pencegahan cedera dan peningkatan kemampuan fisik anak, penerapannya dalam konteks pembelajaran PJOK di sekolah dasar Indonesia, khususnya di Kota Jayapura, masih memerlukan kajian empiris yang lebih spesifik. Sebagai contoh, penelitian Idham et al. (2022) mengkaji keterkaitan kebugaran jasmani, status gizi, dan motivasi belajar dengan hasil belajar PJOK, tetapi tidak secara khusus mengevaluasi intervensi pemanasan neuromuskular. Sementara itu, penelitian intervensi yang telah dibahas sebelumnya sebagian besar dilakukan pada populasi pemain sepak bola anak atau lingkungan sekolah di luar Indonesia, dengan karakteristik program, durasi, dan intensitas latihan yang beragam. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengujian program pemanasan neuromuskular yang sederhana, berdurasi singkat, dan memungkinkan untuk diintegrasikan dalam pembelajaran PJOK di sekolah dasar. Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi perubahan kontrol keseimbangan dinamis dan beberapa komponen kebugaran jasmani setelah penerapan program *neuromuscular dynamic warm-up* pada siswa sekolah dasar di Kota Jayapura, sebagai kontribusi empiris pada konteks populasi dan lingkungan pendidikan yang belum terwakili dalam referensi yang digunakan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kontrol keseimbangan dinamis sebagai indikator fungsional yang berkaitan dengan risiko cedera muskuloskeletal, serta perubahan performa kebugaran jasmani yang meliputi daya tahan kardiorespirasi, daya ledak otot tungkai, dan fleksibilitas, sebelum dan sesudah penerapan program *neuromuscular dynamic warm-up* pada siswa sekolah dasar di Kota Jayapura. Penelitian ini menguji dugaan

bahwa pelaksanaan program pemanasan neuromuskular secara teratur selama enam minggu diikuti oleh peningkatan kemampuan keseimbangan dinamis dan komponen kebugaran jasmani yang diukur.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain praeksperimental satu kelompok prates-pascates (*one-group pretest-posttest design*). Desain ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kontrol keseimbangan dinamis sebagai indikator fungsional yang berkaitan dengan risiko cedera muskuloskeletal, serta perubahan komponen kebugaran jasmani siswa sekolah dasar sebelum dan sesudah mengikuti program *neuromuscular dynamic warm-up*. Penelitian dilakukan melalui dua tahap pengukuran, yaitu prates sebelum pemberian intervensi dan pascates setelah seluruh program intervensi selesai dilaksanakan. Desain ini tidak melibatkan kelompok pembanding sehingga hasil penelitian diinterpretasikan berdasarkan perubahan pengukuran pada kelompok yang sama, tanpa menyimpulkan hubungan sebab-akibat secara langsung.

Populasi dan Sampel

Populasi sasaran penelitian adalah siswa kelas V sekolah dasar di Kota Jayapura yang mengikuti kegiatan pembelajaran Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan (PJOK). Sampel penelitian berjumlah 30 siswa sekolah dasar yang mengikuti kegiatan olahraga rutin di sekolah dan dipilih menggunakan teknik pengambilan sampel secara purposif (*purposive sampling*). Kriteria pemilihan sampel meliputi siswa kelas V yang berada dalam kondisi sehat, tidak mengalami cedera ekstremitas bawah selama tiga bulan sebelum penelitian, serta bersedia mengikuti seluruh rangkaian intervensi selama enam minggu. Seluruh subjek berjenis kelamin laki-laki, dengan rerata usia $10,63 \pm 0,49$ tahun (rentang 10–11 tahun), tinggi badan $145,2 \pm 10,3$ cm, berat badan $37,7 \pm 6,0$ kg, dan indeks massa tubuh $17,8 \pm 1,2$ kg/m². Karakteristik tersebut menggambarkan kondisi antropometrik awal peserta sebelum pelaksanaan intervensi.

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri atas empat jenis tes kebugaran fungsional yang digunakan untuk mengukur kontrol keseimbangan dinamis, daya tahan kardiorespirasi, daya ledak otot tungkai, dan fleksibilitas. Kontrol keseimbangan dinamis diukur menggunakan Y-Balance Test (YBT), yang menilai jarak jangkauan kaki pada tiga arah, yaitu anterior, posteromedial, dan posterolateral, pada masing-masing tungkai. Hasil pengukuran dinyatakan sebagai skor komposit dalam persentase yang dinormalisasi terhadap panjang tungkai peserta. Instrumen ini memiliki reliabilitas antarpemilai (*inter-rater reliability*) yang baik hingga sangat baik, dengan koefisien korelasi intrakelas (*intraclass correlation coefficient/ICC*) sebesar 0,81–1,00, serta reliabilitas tes–retes sebesar 0,63–0,93 pada berbagai populasi (Plisky et al., 2021). Penggunaan YBT pada anak usia sekolah juga didukung oleh Faigenbaum et al. (2014), yang melaporkan reliabilitas sedang hingga baik dalam pengukuran kontrol postural dinamis pada siswa kelas I–V. Dalam penelitian ini, skor YBT digunakan sebagai indikator kemampuan keseimbangan dinamis yang berkaitan dengan faktor risiko cedera ekstremitas bawah, bukan sebagai ukuran langsung insidensi cedera muskuloskeletal.

Daya tahan kardiorespirasi diukur menggunakan tes lari bolak-balik 20 meter (*20-meter shuttle run test/PACER*), yaitu tes lari bolak-balik sejauh 20 meter mengikuti sinyal audio dengan kecepatan yang meningkat secara bertahap hingga peserta mencapai kelelahan sukarela. Hasil pengukuran dinyatakan dalam level atau tahapan tertinggi yang dicapai peserta. Instrumen ini merupakan tes lapangan yang banyak digunakan untuk memperkirakan kebugaran kardiorespirasi pada anak dan remaja, dengan pengembangan model prediksi melalui pendekatan alometrik (Nevill et al., 2021).

Daya ledak otot tungkai diukur menggunakan *vertical jump test*, yaitu selisih antara raihan tertinggi saat melakukan lompatan vertikal dan raihan maksimal dalam posisi berdiri, yang dinyatakan dalam sentimeter. Penelitian Bogataj et al. (2020) menunjukkan bahwa pengukuran performa lompatan vertikal pada anak dapat dilakukan menggunakan aplikasi My Jump 2 dengan validitas konkuren ($r = 0,97-0,99$) dan reliabilitas tes-retes yang tinggi ($ICC > 0,89$) dibandingkan dengan instrumen OptoJump. Namun, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran berdasarkan selisih raihan berdiri dan raihan lompatan, bukan menggunakan aplikasi tersebut.

Fleksibilitas diukur menggunakan *sit-and-reach test* dengan modifikasi posisi V-sit, yang hasilnya dinyatakan dalam sentimeter. Meta-analisis Mayorga-Vega et al. (2014) menunjukkan bahwa tes duduk-jangkau memiliki validitas kriteria sedang untuk memperkirakan ekstensibilitas hamstring ($r_p = 0,46-0,67$), tetapi validitasnya rendah untuk memperkirakan ekstensibilitas lumbal ($r_p = 0,16-0,35$). Oleh karena itu, hasil pengukuran dalam penelitian ini diinterpretasikan sebagai indikator fleksibilitas fungsional, bukan sebagai ukuran langsung panjang otot atau ekstensibilitas lumbal.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran awal (*prates*), pelaksanaan program intervensi, dan pengukuran akhir (*pascates*). Seluruh pengukuran dilaksanakan pada waktu dan tempat yang relatif seragam untuk meminimalkan potensi bias pengukuran. Program intervensi yang diberikan berupa *neuromuscular dynamic warm-up* berdurasi sekitar 8–10 menit per sesi, yang dilaksanakan dua kali per minggu selama enam minggu, sehingga berjumlah 12 pertemuan. Program tersebut terdiri atas tiga fase yang dilaksanakan secara berurutan pada setiap sesi, yaitu aktivasi umum, mobilisasi dinamis, dan aktivasi neuromuskular.

Fase pertama merupakan aktivasi umum yang bertujuan meningkatkan suhu otot dan denyut jantung melalui gerakan *butt kicks* dan *high knees*, masing-masing selama 30 detik sebanyak dua set. Fase kedua merupakan mobilisasi dinamis yang bertujuan meningkatkan rentang gerak sendi dan mengurangi kekakuan otot melalui gerakan *leg swing* (10 repetisi per kaki $\times$ 2 set), rotasi panggul (10 repetisi $\times$ 2 set), dan ayunan lengan (10 repetisi), yang dilakukan pada kedua sisi tubuh sesuai karakteristik gerakan. Fase ketiga merupakan aktivasi neuromuskular yang bertujuan meningkatkan kontrol gerak, stabilitas dinamis, dan kesiapan melakukan gerakan eksplosif melalui gerakan *mini squat* (12 repetisi $\times$ 2 set), *mini squat jump* (10 repetisi $\times$ 2 set), dan *lateral shuffle* (20 detik $\times$ 2 set) dengan intensitas sedang. Pemilihan latihan dinamis dan aktivasi neuromuskular tersebut mengacu pada prinsip program pemanasan neuromuskular berbasis sekolah yang telah diterapkan dalam penelitian Ding et al. (2023), meskipun jenis gerakan, dosis, dan durasi intervensinya tidak sepenuhnya sama.

Seluruh sesi intervensi dilaksanakan selama jam pelajaran PJOK di bawah pengawasan langsung guru PJOK dan tim peneliti untuk memastikan ketepatan teknik pelaksanaan gerakan, konsistensi frekuensi dan durasi sesi, serta keamanan siswa selama program berlangsung. Penelitian ini merupakan kegiatan penelitian internal universitas yang didanai melalui skema Penerimaan Negara Bukan Pajak Badan Layanan Umum (PNBP BLU) dan dilaksanakan dengan memperhatikan prinsip-prinsip etik penelitian yang melibatkan anak. Intervensi bersifat noninvasif dan menggunakan bentuk aktivitas pemanasan yang lazim dilakukan dalam pembelajaran PJOK, sehingga memiliki risiko minimal. Pelaksanaan penelitian didahului dengan izin resmi dari pihak sekolah dan persetujuan tertulis dari orang tua atau wali siswa setelah memperoleh penjelasan mengenai tujuan dan prosedur penelitian (*informed consent*). Partisipasi siswa bersifat sukarela, kerahasiaan identitas dan data peserta dijaga, serta seluruh sesi intervensi diawasi langsung oleh guru PJOK dan tim peneliti. Selama pelaksanaan program intervensi, tidak dilaporkan terjadi insiden cedera maupun kecelakaan yang dapat mengganggu proses kegiatan penelitian.

Analisis Data

Data prates dan pascates dianalisis menggunakan perangkat lunak SPSS. Analisis deskriptif menyajikan rerata dan simpangan baku untuk setiap variabel penelitian. Sebelum pengujian hipotesis, distribusi data prates dan pascates diperiksa menggunakan uji Shapiro-Wilk. Perbedaan rerata sebelum dan sesudah intervensi dianalisis menggunakan uji *t* berpasangan (*paired-samples t-test*) dengan taraf signifikansi 0,05 ($\alpha = 0,05$). Hasil pengujian dilaporkan dalam bentuk rerata, simpangan baku, selisih rerata, interval kepercayaan 95%, nilai statistik *t*, dan nilai *p*. Perbedaan dinyatakan signifikan secara statistik apabila nilai *p* kurang dari 0,05. Interpretasi hasil mempertimbangkan desain praeksperimental tanpa kelompok kontrol, sehingga perubahan skor tidak dapat secara langsung dianggap sebagai akibat intervensi. Hasil penelitian menunjukkan perubahan performa antara dua waktu pengukuran, tetapi tidak dapat sepenuhnya menyingkirkan pengaruh faktor lain yang tidak dikendalikan selama penelitian. Oleh karena itu, kesimpulan mengenai efektivitas program perlu disampaikan secara hati-hati dan sesuai dengan keterbatasan desain penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Analisis dilakukan terhadap 30 siswa sekolah dasar yang mengikuti program *neuromuscular dynamic warm-up* selama enam minggu, dengan frekuensi dua kali per minggu. Pengukuran prates dan pascates mencakup keseimbangan dinamis, fleksibilitas, daya ledak otot tungkai, serta daya tahan kardiorespirasi. Sebelum pengujian hipotesis, normalitas data setiap variabel pada kedua waktu pengukuran diperiksa menggunakan uji Shapiro-Wilk. Hasilnya menunjukkan seluruh nilai signifikansi prates dan pascates lebih besar dari 0,05 ($p > 0,05$), sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Dengan demikian, tidak ditemukan bukti statistik yang cukup untuk menolak asumsi normalitas distribusi pada masing-masing waktu pengukuran. Temuan ini menjadi dasar pemeriksaan awal karakteristik data sebelum dilanjutkan ke analisis perbedaan rerata antara prates dan pascates dengan metode statistik yang telah ditentukan sebelumnya.

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Variabel	Statistik	df	Sig.
Sit and Reach Pretest	0,958	30	0,271
Sit and Reach Posttest	0,935	30	0,066
Vertical Jump Pretest	0,972	30	0,593
Vertical Jump Posttest	0,975	30	0,678
PACER Pretest	0,936	30	0,072
PACER Posttest	0,969	30	0,525
Y-Balance Kiri Pretest	0,979	30	0,799
Y-Balance Kiri Posttest	0,970	30	0,544
Y-Balance Kanan Pretest	0,971	30	0,579
Y-Balance Kanan Posttest	0,967	30	0,452

Selanjutnya, perbedaan rerata hasil pengukuran sebelum dan sesudah intervensi dianalisis menggunakan uji *t* berpasangan (*paired-samples t-test*). Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan pada masing-masing parameter pengukuran dalam kelompok peserta yang sama. Hasil analisis deskriptif dan uji perbedaan rerata, meliputi nilai rerata, simpangan baku, selisih rerata, interval kepercayaan 95%, statistik *t*, dan nilai *p*, disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Deskriptif dan Uji *Paired-Samples t-Test*

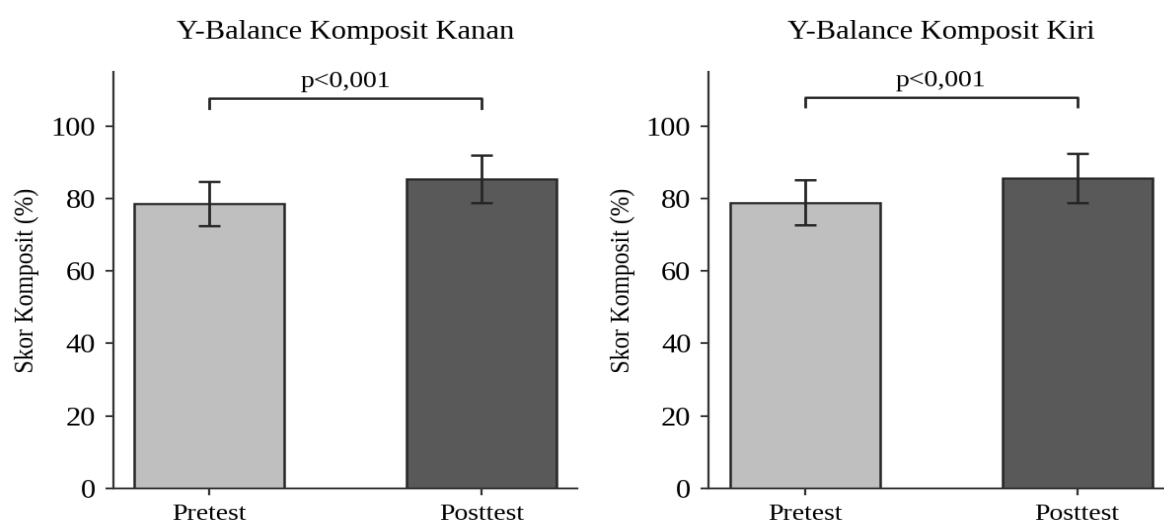
Variabel	Prates (Mean ± SD)	Pascates (Mean ± SD)	Selisih Rerata (IK 95%)	<i>t</i> (df = 29)	<i>p</i>
Y-Balance Komposit Kanan (%)	78,53 ± 6,07	85,34 ± 6,62	6,81 (6,52–7,11)	46,75	<0,001
Y-Balance Komposit Kiri (%)	78,93 ± 6,26	85,61 ± 6,73	6,68 (6,34–7,01)	40,72	<0,001
Sit and Reach (cm)	4,53 ± 4,28	6,04 ± 3,52	1,51 (0,74–2,28)	4,02	<0,001
Vertical Jump (cm)	27,40 ± 5,62	30,63 ± 5,08	3,23 (2,23–4,23)	6,62	<0,001
PACER (level)	5,19 ± 1,85	5,51 ± 1,53	0,32 (–0,07 hingga 0,71)	1,70	0,099

Berdasarkan Tabel 2, terdapat peningkatan rerata skor komposit Y-Balance Test pada kedua tungkai setelah pelaksanaan program intervensi. Skor komposit kanan meningkat dari 78,53 ± 6,07 menjadi 85,34 ± 6,62, dengan selisih rerata 6,81 poin persentase (IK 95%: 6,52–7,11), $t(29) = 46,75$, $p < 0,001$, dan ukuran efek yang besar (Cohen's $d = 1,07$). Skor komposit kiri meningkat dari 78,93 ± 6,26 menjadi 85,61 ± 6,73, dengan selisih rerata 6,68 poin persentase (IK 95%: 6,34–7,01), $t(29) = 40,72$, $p < 0,001$, serta ukuran efek yang juga besar ($d = 1,03$). Peningkatan rerata pada kedua tungkai menunjukkan adanya perubahan positif dalam performa keseimbangan dinamis setelah intervensi.

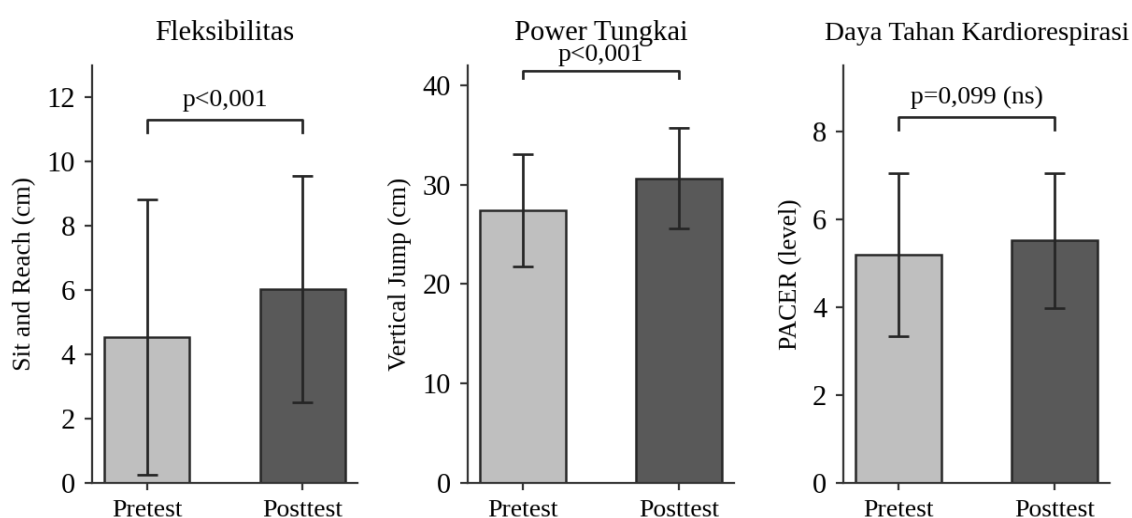
Perubahan signifikan juga ditemukan pada fleksibilitas dan daya ledak otot tungkai. Fleksibilitas yang diukur menggunakan *sit-and-reach test* meningkat dari 4,53 ± 4,28 cm menjadi 6,04 ± 3,52 cm, dengan selisih rerata 1,51 cm (IK 95%: 0,74–2,28), $t(29) = 4,02$, $p < 0,001$, dan ukuran efek sebesar $d = 0,39$. Daya ledak otot tungkai yang diukur menggunakan *vertical jump test* meningkat dari 27,40 ± 5,62 cm menjadi 30,63 ± 5,08 cm, dengan selisih rerata 3,23 cm (IK 95%: 2,23–4,23), $t(29) = 6,62$, $p < 0,001$, dan ukuran efek sedang ($d = 0,60$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat peningkatan performa pada kedua komponen kebugaran jasmani setelah pelaksanaan program pemanasan neuromuskular.

Berbeda dengan parameter lainnya, daya tahan kardiorespirasi tidak menunjukkan perubahan yang signifikan secara statistik. Skor PACER meningkat dari $5,19 \pm 1,85$ menjadi $5,51 \pm 1,53$ level, dengan selisih rerata 0,32 (IK 95%: $-0,07$ hingga $0,71$), $t(29) = 1,70$, $p = 0,099$, dan ukuran efek kecil ($d = 0,19$). Nilai $p > 0,05$ dan interval kepercayaan yang mencakup nol menunjukkan bahwa bukti statistik belum cukup untuk menyimpulkan adanya peningkatan rerata daya tahan kardiorespirasi setelah intervensi.

Secara keseluruhan, empat dari lima parameter pengukuran menunjukkan perubahan signifikan secara statistik, yaitu skor komposit Y-Balance kanan dan kiri, fleksibilitas, serta daya ledak otot tungkai. Sebaliknya, skor PACER tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Hasil ini menggambarkan bahwa selama periode pengamatan, peningkatan performa lebih terlihat pada kemampuan keseimbangan dinamis, fleksibilitas, dan daya ledak otot tungkai dibandingkan dengan daya tahan kardiorespirasi. Perbandingan visual rerata dan simpangan baku pengukuran pretest dan posttest ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Perbandingan Skor Komposit Y-Balance Test Kanan dan Kiri Sebelum (Pretest) dan Sesudah (Posttest) Intervensi



Gambar 2. Perbandingan Fleksibilitas, Power Tungkai, dan Daya Tahan Kardiorespirasi Sebelum (Pretest) dan Sesudah (Posttest) Intervensi

Pembahasan

Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa pelaksanaan program *neuromuscular dynamic warm-up* selama enam minggu diikuti oleh peningkatan signifikan pada kontrol keseimbangan dinamis, fleksibilitas, dan daya ledak otot tungkai siswa sekolah dasar, sedangkan daya tahan kardiorespirasi tidak menunjukkan perubahan yang signifikan secara statistik. Perbedaan respons antarkomponen kebugaran tersebut dapat berkaitan dengan karakteristik program intervensi yang lebih menekankan pada aktivasi neuromuskular, mobilitas sendi, serta kesiapan melakukan gerakan eksplosif daripada aktivitas aerobik berkelanjutan. Namun, interpretasi perubahan tersebut perlu mempertimbangkan karakteristik desain penelitian yang tidak melibatkan kelompok kontrol.

Peningkatan rerata skor komposit Y-Balance Test pada kedua tungkai menunjukkan adanya perbaikan performa keseimbangan dinamis setelah intervensi. Secara fisiologis, perubahan tersebut berpotensi berkaitan dengan stimulasi sistem neuromuskular melalui gerakan dinamis yang melibatkan koordinasi otot, pengaturan posisi tubuh, kontrol postural, dan stabilitas sendi ekstremitas bawah. Latihan seperti *mini squat*, *mini squat jump*, dan *lateral shuffle* menuntut peserta mempertahankan keseimbangan tubuh selama melakukan perubahan posisi dan perpindahan arah gerakan. Pengulangan aktivitas tersebut secara teratur dapat memberikan stimulus terhadap pengembangan kontrol gerak dan stabilitas dinamis, meskipun mekanisme adaptasi neuromuskular tidak diukur secara langsung dalam penelitian ini.

Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Rössler et al. (2016), yang melaporkan potensi perbaikan performa keseimbangan dinamis setelah penerapan program FIFA 11+ Kids pada pemain sepak bola anak. Selain itu, meta-analisis Wan et al. (2025) terhadap latihan neuromuskular terintegrasi pada atlet muda menunjukkan peningkatan signifikan pada keseimbangan dinamis dibandingkan dengan latihan kebugaran fisik konvensional. Tinjauan sistematis dan meta-analisis Plisky et al. (2021) juga mendukung penggunaan Y-Balance Test sebagai instrumen yang reliabel untuk mengevaluasi kontrol neuromuskular dinamis. Sementara itu, Sember et al. (2020) menunjukkan pentingnya reliabilitas dan validitas konstruk dalam penilaian keseimbangan pada anak praremaja, meskipun instrumen yang dikaji tidak secara khusus menguji kemampuan prediksi cedera melalui Y-Balance Test.

Meskipun demikian, peningkatan skor Y-Balance Test tidak dapat secara langsung diinterpretasikan sebagai bukti penurunan kejadian cedera muskuloskeletal. Plisky et al. (2021) menjelaskan bahwa kemampuan Y-Balance Test dalam memprediksi risiko cedera masih menunjukkan hasil yang tidak konsisten antarpopulasi, khususnya ketika menggunakan nilai ambang yang tidak disesuaikan dengan karakteristik usia, jenis kelamin, dan aktivitas fisik. Oleh karena itu, peningkatan skor komposit pada penelitian ini lebih tepat diinterpretasikan sebagai perbaikan indikator fungsional keseimbangan dinamis yang berkaitan dengan faktor risiko cedera, bukan sebagai bukti langsung bahwa insiden cedera telah menurun.

Interpretasi tersebut perlu dibedakan dari penelitian yang secara langsung mengukur kejadian cedera. Program pemanasan neuromuskular yang diterapkan secara rutin pada pemain sepak bola anak telah terbukti menurunkan insiden cedera akut ekstremitas bawah nonkontak (Hilska et al., 2021). Hasil serupa dilaporkan Al

Attar et al. (2023), yang menemukan penurunan angka cedera pada anak yang mengikuti program FIFA 11+ Kids dibandingkan dengan kelompok pemanasan biasa. Meta-analisis Yang et al. (2022) juga menunjukkan bahwa program FIFA 11+ Kids mampu menurunkan risiko cedera keseluruhan pada pemain sepak bola usia anak. Namun, penelitian-penelitian tersebut menggunakan protokol dan populasi yang berbeda serta mengukur kejadian cedera secara langsung, sehingga hasilnya tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan besarnya penurunan risiko cedera dalam penelitian ini.

Peningkatan fleksibilitas yang signifikan setelah intervensi dapat berkaitan dengan pelaksanaan fase mobilisasi dinamis, khususnya gerakan *leg swing* dan rotasi panggul yang dilakukan secara berulang. Gerakan tersebut melibatkan perubahan rentang gerak sendi secara aktif sehingga berpotensi meningkatkan kemampuan peserta melakukan jangkauan gerak fungsional. Namun, penelitian ini tidak mengukur perubahan struktur maupun ekstensibilitas jaringan otot secara langsung, sehingga mekanisme fisiologis yang mendasari perubahan fleksibilitas belum dapat dipastikan. Temuan ini sejalan dengan penelitian terhadap 55 siswa sekolah dasar yang menerima intervensi FIFA 11+ for Kids selama delapan minggu, yang melaporkan peningkatan signifikan pada fleksibilitas dibandingkan dengan kelompok kontrol (Tseng et al., 2021).

Dukungan tambahan diperoleh dari penelitian Tao et al. (2026), yang menunjukkan bahwa peregangan dinamis saat pemanasan dapat meningkatkan performa fleksibilitas dan gerakan eksplosif secara akut pada anak. Meskipun demikian, penelitian tersebut mengevaluasi respons sesaat setelah pemanasan, sedangkan penelitian ini menilai perubahan setelah enam minggu pelaksanaan program. Oleh karena itu, kedua penelitian memberikan bukti yang relevan pada konteks waktu pengamatan yang berbeda. Tinjauan sistematis Fernandez-Agullo dan Merino-Marban (2022) juga menyatakan bahwa pengaruh pemanasan terhadap fleksibilitas anak usia sekolah masih memerlukan penelitian tambahan karena jumlah studi yang tersedia relatif terbatas. Dengan demikian, peningkatan fleksibilitas yang ditemukan dalam penelitian ini memberikan bukti tambahan mengenai perubahan performa setelah penerapan program pemanasan dinamis secara teratur pada populasi siswa sekolah dasar.

Peningkatan daya ledak otot tungkai yang diukur melalui *vertical jump test* juga merupakan salah satu temuan penting penelitian ini. Peningkatan rerata tinggi lompatan setelah intervensi dapat berkaitan dengan fase aktivasi neuromuskular yang melibatkan gerakan *mini squat jump* dan *lateral shuffle*. Gerakan tersebut membutuhkan koordinasi kontraksi otot tungkai, kontrol postural, serta kemampuan menghasilkan gaya secara cepat. Secara teoretis, latihan eksplosif berulang dapat melibatkan mekanisme *stretch-shortening cycle* dan peningkatan efisiensi koordinasi neuromuskular. Akan tetapi, karena aktivitas otot dan respons saraf tidak diukur secara langsung, mekanisme tersebut masih merupakan penjelasan fisiologis yang bersifat interpretatif.

Temuan ini sejalan dengan tinjauan sistematis Fernandez-Agullo dan Merino-Marban (2022), yang menyimpulkan bahwa pemanasan dinamis atau spesifik cenderung menghasilkan performa kekuatan eksplosif lebih baik dibandingkan tanpa pemanasan atau pemanasan pasif pada anak usia sekolah. Selain itu, tinjauan sistematis dan meta-analisis Jimenez-Garcia et al. (2023) menunjukkan bahwa program pencegahan cedera multikomponen memberikan efek positif yang

signifikan terhadap performa lompatan vertikal dan keseimbangan dinamis pada anak dan remaja. Temuan tersebut diperkuat oleh Wan et al. (2025), yang melaporkan peningkatan signifikan performa lompatan setelah penerapan latihan neuromuskular terintegrasi dibandingkan dengan latihan kebugaran konvensional pada atlet muda. Meskipun karakteristik latihan dan populasi penelitian berbeda, kesesuaian arah perubahan ini menunjukkan bahwa latihan berbasis neuromuskular berpotensi mendukung perkembangan performa eksplosif ekstremitas bawah.

Berbeda dengan ketiga komponen kebugaran dan keseimbangan dinamis yang mengalami peningkatan signifikan, daya tahan kardiorespirasi yang diukur melalui PACER tidak menunjukkan perubahan yang signifikan secara statistik setelah enam minggu intervensi. Tidak tercapainya signifikansi tersebut dapat berkaitan dengan karakteristik program yang lebih menekankan latihan neuromuskular daripada aktivitas aerobik berkelanjutan. Durasi intervensi yang relatif singkat, yaitu 8–10 menit per sesi dengan frekuensi dua kali per minggu selama enam minggu, memberikan waktu stimulasi yang terbatas untuk aktivitas aerobik. Selain itu, gerakan dalam program lebih diarahkan pada mobilitas sendi, keseimbangan dinamis, dan kesiapan gerak eksplosif daripada mempertahankan aktivitas dengan intensitas aerobik dalam durasi yang panjang.

Interpretasi tersebut sejalan dengan pentingnya dosis dan karakteristik aktivitas fisik dalam pengembangan kebugaran kardiorespirasi. Penelitian van der Fels et al. (2020) mengevaluasi intervensi aktivitas fisik terstruktur selama 14 minggu dengan frekuensi empat kali per minggu pada siswa sekolah dasar. Penelitian tersebut tidak menemukan efek utama yang signifikan terhadap kebugaran kardiorespirasi secara keseluruhan, sekaligus mengevaluasi peranan dosis aktivitas fisik intensitas sedang hingga berat (*moderate-to-vigorous physical activity*/MVPA) dalam respons latihan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kebugaran kardiorespirasi tidak hanya bergantung pada pelaksanaan program aktivitas fisik, tetapi juga perlu mempertimbangkan karakteristik dan dosis aktivitas yang diterima peserta.

Dengan demikian, hasil PACER dalam penelitian ini dapat dipahami berdasarkan karakteristik program *neuromuscular dynamic warm-up* sebagai pemanasan praaktivitas, bukan sebagai latihan aerobik utama. Namun, karena intensitas fisiologis dan jumlah aktivitas aerobik yang diterima siswa selama intervensi tidak diukur secara langsung, belum dapat dipastikan apakah perubahan PACER yang tidak signifikan sepenuhnya disebabkan oleh keterbatasan dosis latihan. Hal ini sejalan dengan tinjauan sistematis Fernandez-Agullo dan Merino-Marban (2022), yang menekankan bahwa bukti mengenai pengaruh pemanasan terhadap performa daya tahan anak usia sekolah masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dengan variasi durasi, frekuensi, dan intensitas latihan untuk mengevaluasi respons kardiorespirasi secara lebih mendalam.

Beberapa faktor perancu (*confounding factors*) perlu dipertimbangkan dalam menginterpretasikan temuan penelitian ini. Pertama, desain praeksperimental satu kelompok prates-pascates tanpa kelompok kontrol tidak memungkinkan pengendalian terhadap efek pembelajaran (*learning effect*) pada pengukuran Y-Balance Test, *sit-and-reach test*, dan *vertical jump test*. Peserta melakukan pengukuran menggunakan instrumen yang sama sebelum dan sesudah intervensi, sehingga peningkatan performa pada pascates berpotensi dipengaruhi oleh familiaritas terhadap prosedur pengujian, selain perubahan kemampuan fisik yang berlangsung selama program. Kedua, durasi penelitian selama enam minggu tidak sepenuhnya

menghilangkan kemungkinan kontribusi pertumbuhan dan maturasi biologis terhadap perubahan performa motorik pada anak usia 10–11 tahun. Ketiga, aktivitas fisik di luar sesi intervensi, seperti bermain, mengikuti kegiatan olahraga ekstrakurikuler, dan aktivitas fisik sehari-hari yang tidak dikendalikan dalam penelitian ini, juga dapat berkontribusi terhadap perubahan performa kebugaran jasmani.

Keterbatasan lainnya berkaitan dengan jumlah sampel yang relatif kecil, yaitu 30 siswa laki-laki kelas V yang dipilih secara purposif, sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan secara langsung kepada siswa perempuan, kelompok usia lain, atau populasi sekolah dasar dengan karakteristik berbeda. Selain itu, penelitian ini tidak melakukan pengukuran langsung terhadap insidensi cedera selama periode pengamatan yang memadai untuk mengevaluasi efektivitas program dalam pencegahan cedera. Oleh karena itu, perubahan yang ditemukan perlu diinterpretasikan sebagai perubahan performa yang terjadi setelah penerapan program intervensi, dengan kemungkinan kontribusi faktor pembelajaran, pertumbuhan biologis, dan aktivitas fisik lain yang tidak dikendalikan.

Secara keseluruhan, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa program *neuromuscular dynamic warm-up* yang sederhana dan berdurasi singkat berpotensi menjadi bagian dari pembelajaran PJOK untuk mendukung kontrol keseimbangan dinamis, fleksibilitas, dan daya ledak otot tungkai siswa sekolah dasar. Temuan tersebut selaras dengan bukti bahwa program pemanasan terstruktur dapat memberikan manfaat terhadap performa gerak dan pencegahan cedera pada populasi olahraga anak dan remaja (Ding et al., 2022; Jimenez-Garcia et al., 2023). Namun, efektivitas pencegahan cedera dari protokol yang digunakan dalam penelitian ini masih memerlukan pembuktian melalui penelitian terkontrol yang mengukur kejadian cedera secara langsung.

Implikasi praktis dari penelitian ini adalah bahwa guru PJOK dapat mempertimbangkan integrasi program *neuromuscular dynamic warm-up* sebagai bagian dari pemanasan rutin karena relatif singkat, sederhana, dan tidak memerlukan peralatan khusus. Pelaksanaan program perlu memperhatikan ketepatan teknik gerakan, kesesuaian intensitas dengan kemampuan siswa, serta konsistensi penerapan. Tinjauan sistematis Lutz et al. (2024) menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi program pemanasan neuromuskular berkaitan dengan dukungan pelaksana, ketersediaan sumber daya, dan kepatuhan terhadap program. Dengan demikian, program ini berpotensi menjadi salah satu pendekatan untuk mendukung kesiapan gerak dan pengembangan kebugaran fungsional siswa, sedangkan peningkatan daya tahan kardiorespirasi memerlukan pertimbangan terhadap penambahan aktivitas aerobik yang sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan anak.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa program *neuromuscular dynamic warm-up* yang dilaksanakan selama enam minggu berasosiasi dengan peningkatan signifikan kemampuan keseimbangan dinamis yang diukur menggunakan Y-Balance Test, fleksibilitas, serta daya ledak otot tungkai pada siswa sekolah dasar di Kota Jayapura. Namun demikian, perubahan daya tahan kardiorespirasi yang diukur menggunakan PACER tidak menunjukkan signifikansi statistik, sehingga program ini belum menunjukkan peningkatan yang bermakna pada komponen tersebut selama periode pengamatan.

Temuan ini menunjukkan potensi program pemanasan neuromuskular berdurasi singkat sebagai pendekatan praktis untuk mendukung keseimbangan dinamis dan beberapa komponen kebugaran jasmani dalam pembelajaran PJOK. Meskipun demikian, peningkatan keseimbangan dinamis tidak dapat secara langsung diinterpretasikan sebagai penurunan kejadian cedera muskuloskeletal. Selain itu, desain praeksperimental tanpa kelompok kontrol membatasi penarikan kesimpulan sebab-akibat. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu melibatkan kelompok kontrol, mengevaluasi variasi dosis intervensi, serta mengukur kejadian cedera secara langsung untuk mengonfirmasi efektivitas program dalam meningkatkan kebugaran dan mencegah cedera muskuloskeletal pada anak usia sekolah dasar.

REKOMENDASI

Berdasarkan temuan penelitian, disarankan kepada guru Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan (PJOK) di sekolah dasar untuk mengintegrasikan program *neuromuscular dynamic warm-up* sebagai bagian dari pemanasan terstruktur sebelum aktivitas inti pembelajaran, mengingat program ini relatif sederhana, berdurasi singkat, dan tidak memerlukan peralatan khusus, serta berpotensi mendukung peningkatan keseimbangan dinamis, fleksibilitas, dan daya ledak otot tungkai siswa. Pelaksanaannya perlu memperhatikan ketepatan teknik gerakan, kesesuaian intensitas dengan kemampuan siswa, konsistensi penerapan, dan pengawasan guru untuk memastikan keamanan aktivitas fisik. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk menggunakan desain eksperimental dengan kelompok kontrol, melibatkan sampel yang lebih besar dan beragam berdasarkan jenis kelamin serta kelompok usia, dan mengevaluasi variasi durasi, frekuensi, serta intensitas intervensi untuk mengidentifikasi dosis latihan yang lebih optimal, khususnya dalam meningkatkan daya tahan kardiorespirasi. Selain itu, penelitian mendatang perlu mempertimbangkan pengukuran insidensi cedera muskuloskeletal secara langsung, pemantauan aktivitas fisik di luar intervensi, tingkat kepatuhan peserta, serta karakteristik antropometrik dan maturasi biologis sebagai faktor yang dapat memengaruhi hasil pengukuran. Pendekatan tersebut diharapkan dapat menghasilkan bukti empiris yang lebih kuat mengenai efektivitas program pemanasan neuromuskular dalam mendukung kebugaran jasmani dan pencegahan cedera pada siswa sekolah dasar.

REFERENSI

- Al Attar, W. S. A., Bizzini, M., Alzahrani, H., Alarifi, S., Ghulam, H., Alyami, M., Alzhrani, M., & Sanders, R. H. (2023). The FIFA 11+ Kids injury prevention program reduces injury rates among male children soccer players: A clustered randomized controlled trial. *Sports Health*, 15(3), 397–409. <https://doi.org/10.1177/19417381221109224>
- Bogataj, Š., Pajek, M., Hadžić, V., Andrašić, S., Padulo, J., & Trajković, N. (2020). Validity, reliability, and usefulness of My Jump 2 app for measuring vertical jump in primary school children. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), Article 3708. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103708>
- Ding, L., Luo, J., Smith, D. M., Mackey, M., Fu, H., Davis, M., & Hu, Y. (2022). Effectiveness of warm-up intervention programs to prevent sports injuries

- among children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), Article 6336. <https://doi.org/10.3390/ijerph19106336>
- Ding, L., Mackey, M., & Li, S. (2023). Efficacy of a neuromuscular warm-up program in reducing the risk of school sports injury among Chinese children: A cluster randomized controlled trial. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 11(10), Article 23259671231201170. <https://doi.org/10.1177/23259671231201170>
- Faigenbaum, A. D., Farrell, A., Fabiano, M., Radler, T., Naclerio, F., Ratamess, N. A., Kang, J., & Myer, G. D. (2011). Effects of integrative neuromuscular training on fitness performance in children. *Pediatric Exercise Science*, 23(4), 573–584. <https://doi.org/10.1123/pes.23.4.573>
- Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., Perez Fernandez, I., Gomez Carrasco, E., Bates, N., Farrell, A., Ratamess, N. A., & Kang, J. (2014). Feasibility and reliability of dynamic postural control measures in children in first through fifth grades. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(2), 140–148. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4004119/>
- Fernandez-Agullo, R., & Merino-Marban, R. (2022). Effect of warm-up on fitness performance of schoolchildren. A systematic review. *Polish Journal of Sport and Tourism*, 29(1), 3–8. <https://doi.org/10.2478/pjst-2022-0001>
- Hilska, M., Leppänen, M., Vasankari, T., Aaltonen, S., Kannus, P., Parkkari, J., Steffen, K., Kujala, U. M., Konttinen, N., Räsänen, A. M., & Pasanen, K. (2021). Neuromuscular training warm-up prevents acute noncontact lower extremity injuries in children's soccer: A cluster randomized controlled trial. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(4), Article 23259671211005769. <https://doi.org/10.1177/23259671211005769>
- Idham, Z., Neldi, H., Komaini, A., Sin, T. H., & Damrah, D. (2022). Pengaruh kebugaran jasmani, status gizi, dan motivasi belajar terhadap hasil belajar PJOK. *Jurnal Basicedu*, 6(3), 4078–4089. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i3.2196>
- Jimenez-Garcia, J. A., Miller, M. B., & DeMont, R. G. (2023). Effects of multicomponent injury prevention programs on children and adolescents' fundamental movement skills: A systematic review with meta-analyses. *American Journal of Health Promotion*, 37(5), 705–719. <https://doi.org/10.1177/08901171221146434>
- Lin, J., Zhang, R., Shen, J., & Zhou, A. (2022). Effects of school-based neuromuscular training on fundamental movement skills and physical fitness in children: A systematic review. *PeerJ*, 10, Article e13726. <https://doi.org/10.7717/peerj.13726>
- Lutz, D., van den Berg, C., Räsänen, A. M., Shill, I. J., Kim, J., Vaandering, K., Hayden, A., Pasanen, K., Schneider, K. J., Emery, C. A., & Owoeye, O. B. A. (2024). Best practices for the dissemination and implementation of neuromuscular training injury prevention warm-ups in youth team sport: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 58(11), 615–625. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106906>

- Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R., & Viciano, J. (2014). Criterion-related validity of sit-and-reach tests for estimating hamstring and lumbar extensibility: A meta-analysis. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(1), 1–14. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3918544/>
- Nevill, A. M., Ramsbottom, R., Sandercock, G., Bocachica-González, C. E., Ramírez-Vélez, R., & Tomkinson, G. (2021). Developing a new curvilinear allometric model to improve the fit and validity of the 20-m shuttle run test as a predictor of cardiorespiratory fitness in adults and youth. *Sports Medicine*, 51(7), 1581–1589. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01346-0>
- Plisky, P., Schwartkopf-Phifer, K., Huebner, B., Garner, M. B., & Bullock, G. (2021). Systematic review and meta-analysis of the Y-Balance Test Lower Quarter: Reliability, discriminant validity, and predictive validity. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(5), 1190–1209. <https://doi.org/10.26603/001c.27634>
- Ramos, A. P., de Mesquita, R. S., Migliorini, F., Maffulli, N., & Okubo, R. (2024). FIFA 11+ KIDS in the prevention of soccer injuries in children: A systematic review. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 19(1), Article 413. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-04876-9>
- Rössler, R., Donath, L., Bizzini, M., & Faude, O. (2016). A new injury prevention programme for children's football – FIFA 11+ Kids – can improve motor performance: A cluster-randomised controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 34(6), 549–556. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1099715>
- Rössler, R., Junge, A., Bizzini, M., Verhagen, E., Chomiak, J., aus der Fünter, K., Meyer, T., Dvorak, J., Lichtenstein, E., Beaudouin, F., & Faude, O. (2018). A multinational cluster randomised controlled trial to assess the efficacy of '11+ Kids': A warm-up programme to prevent injuries in children's football. *Sports Medicine*, 48(6), 1493–1504. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0834-8>
- Schwartz, G., Brueckner, D., Beurskens, R., & Muehlbauer, T. (2020). Lower Quarter Y Balance Test performance: Reference values for healthy youth aged 10 to 17 years. *Gait & Posture*, 80, 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.05.041>
- Sember, V., Grošelj, J., & Pajek, M. (2020). Balance tests in pre-adolescent children: Retest reliability, construct validity, and relative ability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), Article 5474. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155474>
- Tao, Z., Liu, Y., & Chen, Z. (2026). The acute effects of dynamic and static stretching during warm-up on muscle architecture and performance in children. *Isokinetics and Exercise Science*, 34(1), 69–79. <https://doi.org/10.1177/09593020251370582>
- Tseng, W.-Y., Rekik, G., Chen, C.-H., Clemente, F. M., Bezerra, P., Crowley-McHattan, Z. J., & Chen, Y.-S. (2021). Effects of 8-week FIFA 11+ for Kids intervention on physical fitness and attention in elementary school children. *Journal of Physical Activity & Health*, 18(6), 686–693. <https://doi.org/10.1123/jpah.2020-0823>

- van der Fels, I. M. J., Hartman, E., Bosker, R. J., de Greeff, J. W., de Bruijn, A. G. M., Meijer, A., Oosterlaan, J., Smith, J., & Visscher, C. (2020). Effects of aerobic exercise and cognitively engaging exercise on cardiorespiratory fitness and motor skills in primary school children: A cluster randomized controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 38(17), 1975–1983. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1765464>
- Wan, K.-W., Dai, Z.-H., Wong, P.-S., Ho, R. S.-T., & Tam, B. T. (2025). Comparing the effects of integrative neuromuscular training and traditional physical fitness training on physical performance outcomes in young athletes: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, 11(1), Article 15. <https://doi.org/10.1186/s40798-025-00811-2>
- Wu, J., Yang, Y., Yu, H., Li, L., Chen, Y., & Sun, Y. (2023). Comparative effectiveness of school-based exercise interventions on physical fitness in children and adolescents: A systematic review and network meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 11, Article 1194779. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1194779>
- Yang, J., Wang, Y., Chen, J., Yang, J., Li, N., Wang, C., & Liao, Y. (2022). Effects of the "FIFA11+ Kids" program on injury prevention in children: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), Article 12044. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912044>
- Zhang, F., Bi, C., Yin, X., Chen, Q., Li, Y., Liu, Y., Zhang, T., Li, M., Sun, Y., & Yang, X. (2021). Physical fitness reference standards for Chinese children and adolescents. *Scientific Reports*, 11(1), Article 4991. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84634-7>