

KARYA AKHIR

**EFEK LATIHAN PENGUATAN MODIFIKASI *HYBRID* TERHADAP
TORSI KONSENTRIK MAKSIMAL *QUADRICEPS FEMORIS* DAN
TORSI EKSENTRIK MAKSIMAL *HAMSTRING* PADA SUBJEK SEHAT
TIDAK TERLATIH**



Oleh:

Wirawan Indra Priyantono, dr

NIM. 011728166305

Peserta PPDS I Program Studi Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi

Pembimbing:

Dr. Damayanti Tinduh, dr., Sp.K.F.R., M.S. (K)

Yudith Dian Prawitri, dr., Sp.K.F.R., N.M. (K)

Staf Pengajar Departemen/SMF Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi

**PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER SPESIALIS 1
PROGRAM STUDI ILMU KEDOKTERAN FISIK DAN REHABILITASI
FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS AIRLANGGA
RSUD Dr. SOETOMO SURABAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

**EFEK LATIHAN PENGUATAN MODIFIKASI *HYBRID* TERHADAP
TORSI KONSENTRIK MAKSIMAL *QUADRICEPS FEMORIS* DAN
TORSI EKSENTRIK MAKSIMAL *HAMSTRING* PADA SUBJEK SEHAT
TIDAK TERLATIH**

Karya Akhir Dalam Rangka Memperoleh Tanda Keahlian
Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi
Pada Program Studi Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
8 Desember 2022

Peneliti:

Wirawan Indra Priyantono, dr.

Pembimbing I,

Dr. Damayanti Tinduh, dr., Sp. K.F.R., M.S. (K)
NIP. 197102122016016201

Pembimbing II,

Yudith Dian Prawitri, dr., Sp. K.F.R., N.M. (K)
NIP. 198306102014042003

Koordinator Program Studi Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi

Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga



Andriati, dr., Sp. K.F.R., K.R. (K)

NIP. 196104011988102001

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wirawan Indra Priyantono, dr

NIM : 011728166305

Program Studi : Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi

Menyatakan bahwa semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar dan saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan karya akhir saya yang berjudul:

“EFEK LATIHAN PENGUATAN MODIFIKASI *HYBRID* TERHADAP TORSI KONSENTRIK MAKSIMAL *QUADRICEPS FEMORIS* DAN TORSI EKSENTRIK MAKSIMAL *HAMSTRING* PADA SUBJEK SEHAT TIDAK TERLATIH”.

Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan tindakan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Yang menyatakan,



Wirawan Indra Priyantono, dr
NIM. 011728166305

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur kepada Tuhan atas rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan karya akhir saya yang berjudul **“Efek Latihan Penguatan Modifikasi *Hybrid* terhadap Torsi Konsentrik Maksimal *Quadriceps Femoris* dan Torsi Eksentrik Maksimal *Hamstring* pada Subjek Sehat Tidak Terlatih”**. Karya akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan keahlian dalam bidang Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga Surabaya.

Saya mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Prof. Dr. Mohammad Nasih, SE, M.T., Ak., CMA selaku rektor Universitas Airlangga Surabaya, Prof. Dr. Budi Santoso, dr., Sp. OG(K) sebagai Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga Surabaya, dan Dr. Joni Wahyuhadi, dr., Sp. BS(K) sebagai Direktur RSUD Dr. Soetomo Surabaya.
2. Dr. R.A. Meisy Andriana, dr., Sp. K.F.R., N.M. (K), sebagai Kepala Departemen/SMF Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga/ RSUD Dr. Soetomo Surabaya dan staf pengajar senior Departemen Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga/ RSUD Dr. Soetomo Surabaya.
3. Nuniek Nugraheni S., dr., Sp. K.F.R., Ger. (K) sebagai Kepala Instalasi Rehabilitasi Medik RSUD Dr. Soetomo Surabaya dan staf pengajar senior Departemen Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga/ RSUD Dr. Soetomo Surabaya.

4. Andriati, dr., Sp. K.F.R., K.R. (K), sebagai Ketua Program Studi Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga/ RSUD Dr. Soetomo Surabaya dan staf pengajar senior Departemen Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga/ RSUD Dr. Soetomo Surabaya.
5. Nurul Kusuma Wardani, dr., Sp. K.F.R., Ped (K) sebagai Sekretaris Program Studi Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga/ RSUD Dr. Soetomo Surabaya.
6. Dr. Damayanti Tinduh, dr. Sp. K.F.R., M.S. (K) sebagai pembimbing Karya Akhir saya, yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan selama pendidikan dan dalam penyelesaian karya akhir ini.
7. Yudith Dian Prawitri, dr. Sp. K.F.R., M.S. (K) sebagai pembimbing Karya Akhir saya, yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan selama pendidikan dan dalam penyelesaian karya akhir ini.
8. I Putu Alit Pawana, dr. Sp. K.F.R., M.S. (K) sebagai Wakil Kepala Instalasi Rehabilitasi Medik RSUD Dr. Soetomo Surabaya, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan selama penelitian karya akhir ini.
9. Dr. Ir. Soenarnatalina Melaniani, M.Kes yang telah memberikan bimbingan metodologi penelitian dan statistik dalam karya akhir ini.
10. Seluruh staf pengajar Departemen/ SMF Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga/ RSUD Dr. Soetomo.
11. Tim penelitian saya, dr. Anastrinia Hanun, dr. Putri Ayu Madedi, dan dr. Johanna Clarissa Chrestella yang telah membantu dan bekerja sama dengan baik selama berjalannya penelitian ini.

12. Seluruh PPDS I Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga/ RSUD Dr. Soetomo Surabaya.
13. Seluruh fisioterapis, terapis okupasional, terapis wicara, ortotik prostetik, kesekretariatan, dan karyawan – karyawan Instalasi Rehabilitasi Medik RSUD Dr. Soetomo Surabaya.
14. Orang tua tercinta, Alm. Bpk Priyo Budi Purwanto dan Ibu M. Th. Jeanet Indrawati Sutanto dan kakak tercinta, Febrian Herawati Budiningtyas, atas segala kasih sayang, perhatian, doa dan dukungannya hingga saat ini.
15. Pasangan tercinta, Birgitta Henny Perwitasari atas kasih sayang, perhatian, kesabaran, doa dan dukungannya hingga saat ini.
16. Semua sahabat yang tidak dapat disebutkan satu – per satu yang telah memberikan doa dan dukungan selama menjalani program pendidikan dokter spesialis.

Saya menyadari sepenuhnya bahwa karya akhir ini masih jauh dari sempurna, karena itu saya mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan dan karya berikutnya.

Surabaya, 8 Desember 2022

Penulis

Wirawan Indra Priyantono, dr.

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Airlangga, saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Wirawan Indra Priyantono, dr.

NIM : 011728166305

Program Studi : Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi

Fakultas : Kedokteran

Jenis Karya : Karya Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Airlangga Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul **"Efek Latihan Penguatan Modifikasi *Hybrid* terhadap Torsi Konsentrik Maksimal *Quadriceps Femoris* dan Torsi Eksentrik Maksimal *Hamstring* pada Subjek Sehat Tidak Terlatih"**.

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Airlangga berhak menyimpan, mengalihmedia/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan Karya Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Surabaya

Pada 8 Desember 2022



Yang menyatakan
Wirawan Indra Priyantono, dr

RINGKASAN

**EFEK LATIHAN PENGUATAN MODIFIKASI *HYBRID* TERHADAP
TORSI KONSENTRIK MAKSIMAL *QUADRICEPS FEMORIS* DAN
TORSI EKSENTRIK MAKSIMAL *HAMSTRING* PADA SUBJEK SEHAT
TIDAK TERLATIH**

Peningkatan inaktivitas fisik akibat pandemi COVID-19 berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan. Penurunan pembebanan mekanik otot akibat penurunan jumlah langkah per hari dilaporkan menyebabkan penurunan kekuatan otot tungkai bawah. Metode latihan *hybrid* merupakan metode latihan yang dikembangkan di Universitas Kurume, Jepang. Latihan *hybrid* menggunakan gaya yang dihasilkan oleh otot antagonis yang distimulasi secara elektrik untuk memberikan resistensi terhadap otot agonis yang berkontraksi volunter. Latihan ini mungkin dapat menjadi pilihan efektif untuk latihan penguatan di masa pandemi karena tidak memerlukan alat resistensi atau stabilisasi eksternal. Karena alat *hybrid training system* sulit direplikasi, modifikasi latihan *hybrid* dilakukan dengan menggunakan alat stimulasi konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis adanya perbedaan torsi konsentrik maksimal *quadriceps femoris* (TKMQ) dan torsi eksentrik maksimal *hamstring* (TEMH) antara kelompok yang diberikan latihan penguatan modifikasi *hybrid* dibandingkan dengan kelompok yang diberikan NMES protokol *Russian* pada subjek sehat tidak terlatih.

Penelitian dilakukan di Instalasi Rehabilitasi Medis RSUD Dr. Soetomo Surabaya. Subjek adalah 30 orang laki-laki sehat tidak terlatih yang berusia 18-40 tahun dan telah memenuhi kriteria inklusi serta tidak memenuhi kriteria eksklusi. Subjek dibagi menjadi dua kelompok yaitu 15 orang dalam kelompok perlakuan yang mendapatkan latihan penguatan modifikasi *hybrid* 3 kali perminggu selama 4 minggu, dan 15 orang dalam kelompok kontrol yang mendapatkan terapi NMES *Russian stimulation* 3 kali perminggu selama 4 minggu.

Hasil analisis menunjukkan peningkatan TKMQ 60°/detik (*p-value* 0.005) and TKMQ 120°/detik (*p-value* 0.001) pada tungkai non dominan di kelompok perlakuan. Terdapat peningkatan TKMQ 60°/detik (*p-value* 0.043), TKMQ 120°/detik (*p-value* 0.014) dan TEMH 120°/detik (*p-value* 0.043) pada tungkai non dominan di kelompok kontrol. Terdapat perbedaan signifikan perubahan (delta) torsi maksimal antara kedua kelompok pada TKMQ 120°/detik non dominan (*p-value* 0,036).

Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat peningkatan yang lebih besar pada torsi konsentrik maksimal quadriceps pada pemberian latihan penguatan modifikasi *hybrid* dibandingkan NMES protokol *Russian* pada subjek sehat tidak terlatih.

SUMMARY

**EFFECTS OF MODIFIED HYBRID TRAINING ON CONCENTRIC
QUADRICEPS FEMORIS PEAK TORQUE AND ECCENTRIC
HAMSTRING PEAK TORQUE IN UNTRAINED HEALTHY SUBJECTS**

Increased physical inactivity due to the COVID-19 pandemic has the potential to cause health problems. A decrease in muscle mechanical loading due to a decrease in the number of steps per day was reported to cause a decrease in leg muscle strength. The hybrid training method was a training method developed at Kurume University, Japan. Hybrid training use the force generated by an electrically stimulated antagonist muscle to provide resistance to a voluntarily contracting agonist muscle. This exercise might be an effective choice for strengthening exercises during a pandemic because it did not require external resistance or stabilization devices. Because the hybrid training system device was difficult to replicate, modifications to the hybrid training system were carried out using conventional stimulation tools to improve leg muscle strength. The aim of this study was to analyze the difference in concentric quadriceps femoris peak torque (Q_{CON}) and eccentric hamstring peak torque ($HECC$) between the group given the modified hybrid strengthening exercise compared to the group given the Russian protocol NMES in untrained healthy subjects.

The research was conducted at the Medical Rehabilitation Installation of Dr. Soetomo Hospital Surabaya. Subjects were 30 untrained healthy men aged 18-40 years who had met the inclusion criteria and did not meet the exclusion criteria. Subjects were divided into two groups, namely 15 people in the treatment group who received hybrid modification strengthening exercises 3 times per week for 4 weeks, and 15 people in the control group who received Russian stimulation therapy 3 times per week for 4 weeks.

There were increases in $60^\circ/\text{sec } Q_{CON}$ (p-value 0.005) and $120^\circ/\text{sec } Q_{CON}$ (p-value 0.001) in non-dominant leg in the treatment group. There were increases in $60^\circ/\text{sec } Q_{CON}$ (p-value 0.043), $120^\circ/\text{sec } Q_{CON}$ (p-value 0.014) and $120^\circ/\text{sec } HECC$ (p-value 0.043) in non-dominant leg in the control group. There is a significant difference in peak torque delta between the two groups at non-dominant $120^\circ/\text{sec } Q_{CON}$ (p-value 0.036).

This study showed that there was a bigger increase in concentric quadriceps femoris peak torque in the modified hybrid training exercises group compared to the Russian stimulation group in untrained healthy subjects.

ABSTRAK

**EFEK LATIHAN PENGUATAN MODIFIKASI *HYBRID* TERHADAP
TORSI KONSENTRIK MAKSIMAL *QUADRICEPS FEMORIS* DAN
TORSI EKSENTRIK MAKSIMAL *HAMSTRING* PADA SUBJEK SEHAT
TIDAK TERLATIH**

Wirawan Indra Priyantono, Damayanti Tinduh, Nuniek Nugraheni

Latar Belakang: Peningkatan inaktivitas fisik akibat pandemi COVID-19 berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan. Penurunan pembebanan mekanik otot akibat penurunan jumlah langkah per hari dilaporkan menyebabkan penurunan kekuatan otot tungkai bawah. Metode latihan *hybrid* merupakan metode latihan yang dikembangkan di Universitas Kurume, Jepang. Latihan *hybrid* menggunakan gaya yang dihasilkan oleh otot antagonis yang distimulasi secara elektrik untuk memberikan resistensi terhadap otot agonis yang berkontraksi volunter. Latihan ini mungkin dapat menjadi pilihan efektif untuk latihan penguatan di masa pandemi karena tidak memerlukan alat resistensi atau stabilisasi eksternal. Karena alat *hybrid training system* sulit direplikasi, modifikasi latihan *hybrid* dilakukan dengan menggunakan alat stimulasi konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis adanya perbedaan torsi konsentrik maksimal *quadriceps femoris* (TKMQ) dan torsi eksentrik maksimal *hamstring* (TEMH) antara kelompok yang diberikan latihan penguatan modifikasi *hybrid* dibandingkan dengan kelompok yang diberikan NMES protokol *Russian* pada subjek sehat tidak terlatih.

Metode: Penelitian dilakukan di Instalasi Rehabilitasi Medis RSUD Dr. Soetomo Surabaya. Subjek adalah 30 orang laki-laki sehat tidak terlatih yang berusia 18-40 tahun dan telah memenuhi kriteria inklusi serta tidak memenuhi kriteria eksklusi. Subjek dibagi menjadi dua kelompok yaitu 15 orang dalam kelompok perlakuan yang mendapatkan latihan penguatan modifikasi *hybrid* 3 kali perminggu selama 4 minggu, dan 15 orang dalam kelompok kontrol yang mendapatkan terapi NMES *Russian stimulation* 3 kali perminggu selama 4 minggu.

Hasil: Terdapat peningkatan TKMQ 60°/detik (p -value 0.005) and TKMQ 120°/detik (p -value 0.001) pada tungkai non dominan di kelompok perlakuan. Terdapat peningkatan TKMQ 60°/detik (p -value 0.043), TKMQ 120°/detik (p -value 0.014) dan TEMH 120°/detik (p -value 0.043) pada tungkai non dominan di kelompok kontrol. Terdapat perbedaan signifikan perubahan (delta) torsi maksimal antara kedua kelompok pada TKMQ 120°/detik non dominan (p -value 0,036).

Kesimpulan: Terdapat perbedaan peningkatan yang lebih besar pada torsi konsentrik maksimal *quadriceps* pada pemberian latihan penguatan modifikasi *hybrid* dibandingkan NMES protokol *Russian* pada subjek sehat tidak terlatih.

Kata Kunci: torsi konsentrik maksimal *quadriceps femoris*, torsi eksentrik maksimal *hamstring*, latihan modifikasi *hybrid*, stimulasi *Russian*, latihan resistensi

ABSTRACT

**EFFECTS OF MODIFIED HYBRID TRAINING ON CONCENTRIC
QUADRICEPS FEMORIS PEAK TORQUE AND ECCENTRIC
HAMSTRING PEAK TORQUE IN UNTRAINED HEALTHY SUBJECTS**

Wirawan Indra Priyantono, Damayanti Tinduh, Nuniek Nugraheni

Background: Increased physical inactivity due to the COVID-19 pandemic has the potential to cause health problems. A decrease in muscle mechanical loading due to a decrease in the number of steps per day was reported to cause a decrease in leg muscle strength. The hybrid training method was a training method developed at Kurume University, Japan. Hybrid training use the force generated by an electrically stimulated antagonist muscle to provide resistance to a voluntarily contracting agonist muscle. This exercise might be an effective choice for strengthening exercises during a pandemic because it did not require external resistance or stabilization devices. Because the hybrid training system device was difficult to replicate, modifications to the hybrid training system were carried out using conventional stimulation tools to improve leg muscle strength. The aim of this study was to analyze the difference in concentric quadriceps femoris peak torque (Q_{CON}) and eccentric hamstring peak torque ($HECC$) between the group given the modified hybrid strengthening exercise compared to the group given the Russian protocol NMES in untrained healthy subjects.

Methods: The research was conducted at the Medical Rehabilitation Installation of Dr. Soetomo Hospital Surabaya. Subjects were 30 untrained healthy men aged 18-40 years who had met the inclusion criteria and did not meet the exclusion criteria. Subjects were divided into two groups, namely 15 people in the treatment group who received hybrid modification strengthening exercises 3 times per week for 4 weeks, and 15 people in the control group who received Russian stimulation therapy 3 times per week for 4 weeks.

Results: There were increases in 60°/sec Q_{CON} (p-value 0.005) and 120°/sec Q_{CON} (p-value 0.001) in non-dominant leg in the treatment group. There were increases in 60°/sec Q_{CON} (p-value 0.043), 120°/sec Q_{CON} (p-value 0.014) and 120°/sec $HECC$ (p-value 0.043) in non-dominant leg in the control group. There is a significant difference in peak torque delta between the two groups at non-dominant 120°/sec Q_{CON} (p-value 0.036).

Conclusion: There was a bigger increase in concentric quadriceps femoris peak torque in the modified hybrid training exercises group compared to the Russian stimulation group in untrained healthy subjects.

Keywords: concentric quadriceps peak torque, eccentric hamstring peak torque, modified hybrid training, Russian stimulation, resistance exercise

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA AKHIR	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	3
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.3.1 Tujuan umum.....	6
1.3.2 Tujuan khusus.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.4.1 Manfaat bagi pelayanan.....	7

1.4.2	Manfaat bagi ilmu pengetahuan.....	7
1.4.3	Manfaat bagi subjek penelitian	7
1.5	Risiko Penelitian dan Antisipasi Risiko	7
BAB 2	TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1	Anatomi dan Fisiologi Otot Rangka.....	9
2.1.1	Anatomi otot rangka	9
2.1.2	Fisiologi kontraksi otot rangka	14
2.1.3	Jenis serabut otot rangka.....	16
2.2	Aspek Fungsional Kontraksi Otot	18
2.2.1	Jenis aksi otot.....	18
2.2.2	Jenis kontraksi otot	18
2.2.3	Kokontraksi agonis dan antagonis	19
2.3	Penguatan Otot	21
2.3.1	Adaptasi otot terhadap latihan resistensi	21
2.3.2	Efek <i>neuromuscular electrical stimulation</i> pada kekuatan otot	24
2.3.3	Pengukuran peningkatan kekuatan otot	29
2.4	Latihan Penguatan <i>Hybrid</i>	31
2.4.1	Definisi latihan penguatan <i>hybrid</i>	31
2.4.2	Alat latihan penguatan <i>hybrid</i>	32
2.4.3	Aplikasi latihan penguatan <i>hybrid</i>	34
2.4.4	Manfaat klinis latihan penguatan <i>hybrid</i>	35
2.4.5	Kelebihan latihan penguatan <i>hybrid</i>	36

2.4.6	Kelemahan latihan penguatan <i>hybrid</i>	38
BAB 3	KERANGKA KONSEP DAN HIPOTESIS PENELITIAN	39
3.1	Kerangka Konseptual	39
3.2	Penjelasan Kerangka Konseptual	40
3.3	Hipotesis Penelitian	42
BAB 4	METODOLOGI PENELITIAN.....	43
4.1	Rancangan Penelitian	43
4.2	Populasi, Besar Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel	44
4.2.1	Populasi.....	44
4.2.2	Subjek penelitian	44
4.2.3	Besar sampel.....	44
4.2.4	Teknik pengambilan sampel	45
4.3	Kriteria Subjek Penelitian.....	45
4.3.1	Kriteria inklusi	45
4.3.2	Kriteria eksklusi.....	46
4.3.3	Kriteria putus uji	46
4.4	Variabel Penelitian	47
4.4.1	Variabel bebas	47
4.4.2	Variable tergantung	47
4.4.3	Variabel perancu.....	47
4.5	Definisi Operasional Variabel	47
4.6	Instrumen Penelitian.....	49
4.7	Tempat dan Waktu Penelitian	49

4.8	Alur Penelitian	50
4.9	Cara Kerja.....	50
4.10	Analisis Data	51
4.11	Kelaikan Etik	52
4.12	Jadwal dan Biaya Penelitian	53
4.13	Personalia Penelitian	53
BAB 5	HASIL PENELITIAN.....	54
5.1	Karakteristik Subjek Penelitian	54
5.2	Perbandingan Torsi Konsentrik Maksimal <i>Quadriceps Femoris</i> dan Torsi Eksentrik Maksimal <i>Hamstring</i> Sebelum dan Setelah Intervensi pada Kelompok Perlakuan.....	56
5.3	Perbandingan Torsi Konsentrik Maksimal <i>Quadriceps Femoris</i> dan Torsi Eksentrik Maksimal <i>Hamstring</i> Sebelum dan Setelah Intervensi pada Kelompok Kontrol	57
5.4	Perbandingan Perubahan Torsi Konsentrik Maksimal <i>Quadriceps Femoris</i> dan Torsi Eksentrik Maksimal <i>Hamstring</i> Antar Kelompok	58
BAB 6	PEMBAHASAN.....	60
6.1	Karakteristik Subjek Penelitian	60
6.2	Perbandingan Torsi Konsentrik Maksimal <i>Quadriceps Femoris</i> dan Torsi Eksentrik Maksimal <i>Hamstring</i> Sebelum dan Setelah Intervensi pada Kelompok Perlakuan.....	63

6.3	Perbandingan Torsi Konsentrik Maksimal <i>Quadriceps Femoris</i> dan Torsi Eksentrik Maksimal <i>Hamstring</i> Sebelum dan Setelah Intervensi pada Kelompok Kontrol	65
6.4	Perbandingan Perubahan Torsi Konsentrik Maksimal <i>Quadriceps Femoris</i> dan Torsi Eksentrik Maksimal <i>Hamstring</i> Antar Kelompok	67
6.5	Manfaat Temuan Penelitian	68
6.6	Keterbatasan Penelitian	70
BAB 7	KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
7.1	Kesimpulan.....	71
7.2	Saran....	71
DAFTAR PUSTAKA		72
LAMPIRAN.....		76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Organisasi struktural otot skeletal	11
Gambar 2.2	Morfologi <i>muscle fiber</i>	13
Gambar 2.3	Struktur molekuler sarkomer	14
Gambar 2.4	Dimensi sarkomer saat kondisi relaksasi dan kontraksi	15
Gambar 2.5	Tiga jenis kontraksi otot: isometrik (A), konsentrik (B), eksentrik (C).....	19
Gambar 2.6	Hubungan tegangan ACL dan sudut sendi lutut.....	20
Gambar 2.7	Arus protokol <i>Russian</i>	28
Gambar 2.8	Dinamometer isokinetik	31
Gambar 2.9	Model skematik metode latihan penguatan <i>hybrid</i>	32
Gambar 2.10	<i>Hybrid training system</i>	33
Gambar 3.1	Kerangka konseptual	39
Gambar 4.1	Rancangan penelitian.....	43
Gambar 4.2	Alur penelitian	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik berbagai tipe serabut otot.....	17
Tabel 4.1	Definisi operasional variabel	46
Tabel 5.1	Karakteristik dasar subjek penelitian.....	55
Tabel 5.2	Torsi maksimal sebelum dan setelah intervensi pada kelompok perlakuan	56
Tabel 5.2	Torsi maksimal sebelum dan setelah intervensi pada kelompok kontrol.....	58
Tabel 5.4	Perubahan torsi maksimal kelompok perlakuan dan kontrol	59

DAFTAR SINGKATAN

(PKB)/Akt	: Protein kinase B
1 RM	: <i>One repetition maximum</i>
ACL	: <i>Anterior cruciate ligament</i>
ATP	: <i>Adenosin tri phosphate</i>
BMI	: <i>Body Mass Index</i>
COVID-19	: <i>Corona Virus Disease 2019</i>
DOMS	: <i>Delayed onset muscle soreness</i>
FOXO	: <i>Forkhead Box</i>
MTJ	: <i>Musculotendinous junction</i>
mTOR	: <i>Mammalian target of rapamycin</i>
MVIC	: <i>Maximal voluntary isometric contraction</i>
NMES	: <i>Neuromuscular electrical stimulation</i>
TKMQ	: Torsi konsentrik maksimal <i>quadriceps femoris</i>
TEMQ	: Torsi eksentrik maksimal <i>hamstring</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Lembar informasi untuk mendapatkan persetujuan	76
Lampiran 2	Lembar persetujuan menjadi subjek penelitian	80
Lampiran 3	Lembar persetujuan tindakan medis	81
Lampiran 4	Lembar pengunduran diri sebagai subjek penelitian	82
Lampiran 5	Lembar pengumpulan data dasar subjek penelitian.....	83
Lampiran 6	Klasifikasi <i>body mass index</i>	85
Lampiran 7	Protokol penentuan dominansi kaki	86
Lampiran 8	Kuesioner <i>International Physical Activity Questionnaire-Short Form (IPAQ-SF)</i>	87
Lampiran 9	Protokol pengukuran torsi maksimal <i>quadriceps dan hamstring</i>	89
Lampiran 10	Protokol latihan penguatan modifikasi <i>hybrid dan neuromuscular electrical stimulation</i>	91
Lampiran 11	<i>Visual analog scale (VAS)</i>	95
Lampiran 12	<i>Borg scale</i>	96
Lampiran 13	Lembar pencatatan latihan penguatan modifikasi <i>hybrid</i>	97
Lampiran 14	Lembar pencatatan pemberian NMES.....	98
Lampiran 15	Lembar pengukuran torsi maksimal <i>quadriceps dan hamstring</i> .	99
Lampiran 16	Antisipasi risiko penelitian nyeri sendi/otot dan DOMS.....	101
Lampiran 17	Hasil analisis statistik	102
Lampiran 18	Surat kelaikan etik	119