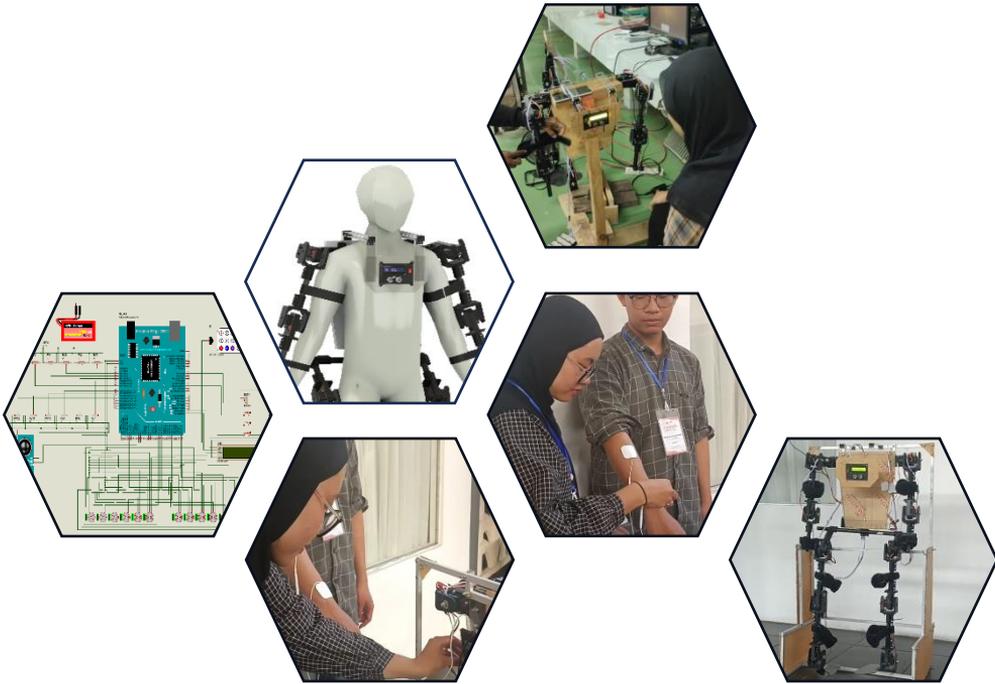


**PENGEMBANGAN ALAT REHABILITASI *SMART SKELETON* DENGAN
METODE *NEURODEVELOPMENTAL THERAPY* DAN TEKNOLOGI
EXOSKELETON BAGI PENDERITA *CEREBRAL PALSY***



ANJASWARI RESTI ARIMBI

R021201029



**PROGRAM STUDI FISIOTERAPI
FAKULTAS KEPERAWATAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2024

**PENGEMBANGAN ALAT REHABILITASI *SMART SKELETON* DENGAN
METODE *NEURODEVELOPMENTAL THERAPY* DAN TEKNOLOGI
EXOSKELETON BAGI PENDERITA *CEREBRAL PALSY***

ANJASWARI RESTI ARIMBI

R021201029



**PROGRAM STUDI FISIOTERAPI
FAKULTAS KEPERAWATAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2024

**PENGEMBANGAN ALAT REHABILITASI *SMART SKELETON* DENGAN
METODE *NEURODEVELOPMENTAL THERAPY* DAN TEKNOLOGI
EXOSKELETON BAGI PENDERITA *CEREBRAL PALSY***

ANJASWARI RESTI ARIMBI

R021201029

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Fisioterapi

pada

**PROGRAM STUDI FISIOTERAPI
FAKULTAS KEPERAWATAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2024

SKRIPSI
PENGEMBANGAN ALAT REHABILITASI SMART SKELETON DENGAN
METODE NEURODEVELOPMENTAL THERAPY DAN TEKNOLOGI
EXOSKELETON BAGI PENDERITA CEREBRAL PALSY

ANJASWARI RESTI ARIMBI
R021201029

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana pada 29 Februari 2024 dan
dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

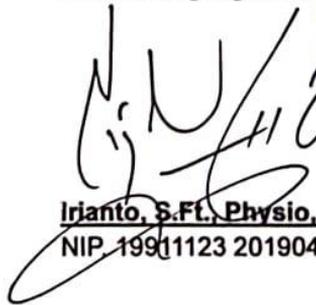


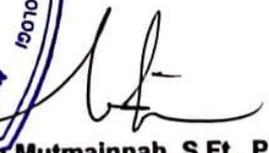
Mengesahkan:

Pembimbing tugas akhir

Mengesahkan:

Plt. Ketua Program Studi S1 Fisioterapi,


Irianto, S.Ft., Physio, M.Kes.
NIP. 19911123 201904 3 001


Dr. Meutiah Mutmainnah, S.Ft., Physio, M.Kes.
NIP. 19910710 202204 4 001

PENYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Pengembangan Alat Rehabilitasi *Smart Skeleton* dengan Metode *Neurodevelopmental Therapy* dan Teknologi *Exoskeleton* bagi Penderita *Cerebral Palsy*" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Bapak Irianto, S.Ft., Physio, M.Kes. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 4 Februari 2024



R021201029

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah S.W.T. atas berkat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengembangan Alat Rehabilitasi *Smart Skeleton* dengan Metode *Neurodevelopmental Therapy* dan Teknologi *Exoskeleton* bagi Penderita *Cerebral Palsy*". Shalawat serta salam tidak lupa kita haturkan pada Nabi Muhammad S.A.W. sebagai suri tauladan bagi kita semua. Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk menyelesaikan salah satu syarat memperoleh gelar sarjana di Program Studi Fisioterapi, Fakultas Keperawatan, Universitas Hasanuddin.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak dukungan, motivasi dan dorongan sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Andi Besse Ahsaniyah, S.Ft., Physio, M.Kes. selaku Ketua Program Studi S1 Fisioterapi Fakultas Keperawatan Universitas Hasanuddin dan dosen penguji penulis, yang telah memberikan bimbingan, kritikan dan saran dalam penyelesaian skripsi.
2. Dosen pembimbing Bapak Irianto, S.Ft., Physio, M.Kes. yang telah membimbing penulis dari awal hingga akhir pada program PKM hingga penyusunan dan penyelesaian skripsi.
3. Dosen penguji skripsi, Ibu Dr. Andi Rizky Arbaim Hasyar, S.Ft, Physio. yang telah memberikan bimbingan, kritikan dan saran dalam penyelesaian skripsi.
4. Staf Dosen dan Administrasi Program Studi Fisioterapi, terutama Bapak Ahmad yang dengan sabar membantu penulis mengurus administrasi dan memberikan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi.
5. Kedua orang tua penulis Bapak Solichin dan Ibu Naning Purwanti, saudara dan segenap keluarga besar atas doa yang tiada hentinya, dukungan moril, emosional, dan finansial yang telah diberikan.
6. Tak lupa sepupu saya Bela, hewan peliharaan saya Abuy dan Apuy yang selalu menemani saya kerja skripsi sampai tembus subuh.
7. Sodara-sodariku Zee, Bryan, Dim, Inna tim PKM-KC *Smart Skeleton* yang telah membantu penulis menghadapi tantangan Pimnas 36 hingga penyusunan skripsi dengan topik PKM.
8. Teman-temanku Nopea, Salma, Adel, Dhilah, dan sobat Ast20sit yang telah menemani penulis dari maba hingga wisuda di baruga.
9. Seseorang yang tidak bisa saya sebutkan namanya tetapi selalu menjadi motivasi bagi penulis untuk menjadi lebih baik.

Penulis,

Anjaswari Resti Arimbi

ABSTRAK

ANJASWARI RESTI ARIMBI. **Pengembangan Alat Rehabilitasi *Smart Skeleton* dengan Metode *Neurodevelopmental Therapy* dan Teknologi *Exoskeleton* bagi Penderita *Cerebral Palsy* (dibimbing oleh Irianto).**

Latar belakang. *Cerebral palsy (CP)* merupakan kondisi kelumpuhan otak kompleks yang menyebabkan gangguan motorik pada anak. Menurut data dalam *World Cerebral Palsy Day Guide*, terdapat lebih dari 17 juta orang di dunia menderita *CP*. Angka kejadian *CP* di dunia berkisar pada 2 per 1.000 kelahiran hidup sedangkan di Indonesia angka kejadian *CP* berkisar 3 – 4 dari 1.000 kelahiran hidup. Metode dasar dalam rehabilitasi penderita *CP* yaitu *Neurodevelopmental Therapy (NDT)* yang terdiri dari tiga prinsip, inhibisi untuk kontrol postur dan gerak abnormal penderita, fasilitasi gerak dan pola gerak dasar penderita, dan stimulasi pada sistem saraf sensorik dan motorik penderita.

Tujuan. *Tujuan* dari penelitian ini untuk menciptakan sebuah alat yang mampu menerapkan tiga prinsip *NDT* sebagai alat rehabilitasi pasien *CP*.

Metode. Metode penelitian menggunakan metode *research and development (R&D)* yang dibagi menjadi tiga tahap, yakni: 1) studi literatur; 2) implementasi alat; dan 3) pengujian alat. Dilakukan pengujian dengan mengukur *Range of Motion (ROM)* *servo motor* menggunakan goniometer dan besar intensitas dan frekuensi *electrical stimulation* menggunakan multimeter digital.

Hasil. Hasil dari penelitian ini yaitu *smart skeleton* mampu menerapkan tiga prinsip *NDT*. Pembuatan *smart skeleton* didesain dengan menggunakan *brace*, *servo motor*, dan *electrical stimulation* sebagai komponen utama. *Range of Motion* yang dihasilkan mampu mengikuti *ROM* normal dan mampu menghantarkan arus 0 – 101,6mA serta frekuensi 0 – 91,7Hz.

Kesimpulan. Kesimpulan penelitian ini yaitu *smart skeleton* berhasil mengembangkan inovasi alat rehabilitasi bagi penderita *cerebral palsy* menggunakan metode *neurodevelopmental therapy* dan *servo motor* berbasis *arduino mega* serta penambahan *electrical stimulation*.

Kata-kata kunci: *cerebral palsy*; *neurodevelopmental therapy*; alat rehabilitasi; *exoskeleton*

ABSTRAC

ANJASWARI RESTI ARIMBI. **Develop Smart Skeleton as Rehabilitation Device Using Neurodevelopmental Therapy Methods and Exoskeleton Technology for Cerebral Palsy** (supervised by Irianto).

Background. Cerebral palsy (CP) is a brain complex disorders that causes motoric disorders in children. Based on World Health Organization, more of 17 million people in the world diagnosed with CP. The prevalence rate of CP in the world reached 2 of 1.000 live birth. While the prevalence rate of CP in Indonesia reached 3 – 4 of 1.000 live birth. The rehabilitation principle of CP there is a basic method named Neurodevelopmental Therapy (NDT), which consists of three main principles, inhibition to control abnormal posture and movement, facilitation movement and basic movement patterns, and stimulation sensory and motor nervous system.

Aim. The aim of this program is to create a tool that is able to apply the three principles of NDT as a rehabilitation device for CP patients.

Method. The method of this research is research and development (R&D) method. Which is divided into three stages, i.e. 1) literature study; 2) implementation; 3) testing. The test was carried out by measuring the Range of Motion (ROM) created by the servo motor and the current and frequency produced by the electrical stimulant.

Result. The results of this research are smart skeleton is able to apply three NDT principles. The smart skeleton manufacturing method is designed using braces, servo motors and electrical stimulants as the main components. The resulting Range of Motion is able to follow normal ROM and is capable of delivering a current of 0 – 101,6mA and a frequency of 0 – 91,7Hz.

Conclusion. The conclusion of this research is smart skeleton has succeeded in developing innovative rehabilitation device for CP using NDT methods, servo motor based of arduino mega, and addition of an electrical stimulation.

Key words: cerebral palsy; neurodevelopmental therapy; rehabilitation device; exoskeleton

DAFTAR ISI

	Halaman
PENYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRAC	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.3.1 Tujuan Umum	4
1.3.2 Tujuan Khusus	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Manfaat Bidang Akademik	4
1.4.2 Manfaat Bidang Aplikatif.....	4
1.5 Teori.....	4
1.6 Kerangka Teori	30
BAB 2 METODE PENELITIAN.....	31
2.1 Jenis Penelitian	31
2.2 Waktu dan Tempat	31
2.3 Alur Penelitian	31
2.3.1 Studi Literatur	31
2.3.2 Implementasi Alat.....	32
2.4 Prosedur Pengujian Alat	35
2.4.1 Pengujian Besar Sudut <i>ROM Servo Motor</i>	35
2.4.2 Pengujian Besar Intensitas dan Frekuensi <i>Electrical Stimulation</i>	35
2.5 Pengolahan dan Analisis Data	36
BAB 3 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
3.1 Hasil	37
3.1.1 Desain <i>Smart Skeleton</i>	37
3.1.2 Mekanisme Kerja <i>Smart Skeleton</i>	42
3.1.3 Pengujian Besar Sudut <i>ROM Servo Motor</i>	45
3.1.4 Pengujian Besar Intensitas dan Frekuensi <i>Electrical Stimulation</i>	46
3.2 Pembahasan	47
3.2.1 Desain <i>Smart Skeleton</i>	47
3.2.2 Mekanisme Kerja <i>Smart Skeleton</i>	49
3.2.3 Besar Sudut <i>ROM Servo Motor</i>	51
3.2.4 Besar Intensitas dan Frekuensi <i>Electrical Stimulation</i>	52
BAB 4 KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
4.1 Kesimpulan	54
4.2 Saran.....	54
Daftar Pustaka	55

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. <i>Literature Review</i>	7
2. <i>Clinical Design Spesification</i>	41
3. Hasil Uji <i>Range of Motion Servo Motor</i>	45
4. Hasil Uji Besar Intensitas dan Frekuensi <i>Electrical Stimulation</i>	46

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Kerangka Teori	30
2. Alur Penelitian	31
3. Implementasi Alat	32
4. <i>Flowchart</i> Uji Sistem Elektrikal dan Mekanikal	34
5. Multimeter Digital	36
6. Desain Keseluruhan <i>Smart Skeleton</i>	37
7. Detail Desain <i>Smart Skeleton</i> Tampak Depan	38
8. Detail Desain <i>Smart Skeleton</i> Tampak Belakang	38
9. Detail Desain <i>Smart Skeleton</i> Ekstremitas Bawah	39
10. <i>Smart Skeleton</i>	39
11. <i>Smart Skeleton</i> Tampak Depan	40
12. <i>Smart Skeleton</i> Tampak Belakang	40
13. Ekstremitas Bawah <i>Smart Skeleton</i>	40
14. Bagan Sistem Elektronika <i>Smart Skeleton</i>	42
15. Skematik Rangkaian <i>Smart Skeleton</i>	43
16. Prinsip Inhibisi pada <i>Smart Skeleton</i>	44
17. Prinsip Fasilitasi pada <i>Smart Skeleton</i>	44

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Surat Pendanaan Program Kreativitas Mahasiswa Tahun 2023	61
2. Surat Undangan Kegiatan Monev I PKM Unhas Pendanaan	64
3. Surat Pendampingan Pelaksanaan PKM Pendanaan Tahun 2023	65
4. Surat Izin Peminjaman Laboratorium Penelitian.....	67
5. Surat Undangan PKP2 Internal II Unhas 2023	68
6. Surat Undangan Monev Eksternal	70
7. Surat Pengumuman dan Undangan Peserta PIMNAS Tahun 2023	72
8. Surat Undangan Workshop Luaran Program Kreativitas Mahasiswa	75
9. Surat Undangan Konsinyering PIMNAS Ke-36 Tahun 2023.....	76
10. Dokumentasi Kegiatan	78
11. Buku Panduan Penggunaan Smart Skeleton.....	83
12. HAKI Buku Panduan Penggunaan Smart Skeleton	84
13. Publikasi Media oleh Media Mahasiswa dan Identitas Unhas	85
14. Daftar Riwayat Hidup	86

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
<i>CP</i>	<i>Cerebral Palsy</i>
<i>NDT</i>	<i>Neurodevelopmental Therapy</i>
<i>ADL</i>	<i>Activity Daily Living</i>
dkk	dan kawan-kawan
%	Persentase
<i>LSS</i>	<i>Level of Sitting</i>
<i>GMFCS</i>	<i>Gross Motor Function Classification System</i>
<i>ROM</i>	<i>Range of Motion</i>
<i>SMI</i>	<i>Sensomotoric Integration</i>
mA	Miliampere
mAh	Miliampere hour
Hz	Hertz
kg/cm	Kilogram per sentimeter
°	Derajat
<i>DDST</i>	<i>Denver Development Screening Test</i>
<i>3D</i>	<i>Three-dimensional</i>
<i>LCD</i>	<i>Liquid Crystal Display</i>
<i>PCB</i>	<i>Printed Circuit Board</i>
τ	Torsi
r	Jari-jari
F	Gaya
$\sin \theta$	Sudut antara gaya dan lengan beban
N/mm ²	Newton/milimeter kuadrat
<i>IR</i>	Infrared
mm	Milimeter
N	Newton
m	Meter

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cerebral palsy (CP) menjadi penyebab kecacatan pertama dan gangguan motorik paling umum pada anak di dunia (Marpole dkk., 2020). *Cerebral palsy* terjadi akibat kelainan heterogen kelumpuhan otak yang disebabkan oleh lesi non-progresif pada otak yang sedang berkembang (Ream & Lehwald, 2018). Kelumpuhan otak ini menyebabkan gangguan motorik berupa kelainan tonus otot, gerakan, dan keterampilan motorik dasar (Gulati & Sondhi, 2018). Selain menyebabkan gangguan motorik *CP* juga dapat menyebabkan gangguan komunikasi, perilaku, penglihatan, pendengaran, dan kemampuan *activity daily living (ADL)* pada penderita sepanjang usianya dan mempengaruhi kemandirian serta partisipasi sosial penderita (Jackman dkk., 2022). Kondisi penderita *CP* dapat diperburuk dengan adanya kemungkinan komorbiditas dengan masalah kesehatan lain (Hallman-Copper & Rocha, 2022). Penderita *CP* yang mengalami epilepsi mencapai 40%, memiliki disabilitas intelektual sebesar 30% – 50%, sekitar 22% mengalami *attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)*, kehilangan kemampuan mengendalikan otot-otot dasar oropharingeal, dan gangguan keseimbangan dan koordinasi (Ahn dkk., 2021). Menurut data dalam *World Cerebral Palsy Day Guide*, terdapat lebih dari 17 juta orang di dunia menderita *CP* (Cerebral Palsy Alliance, 2023). Angka kejadian *CP* di dunia berkisar pada 2 per 1.000 kelahiran hidup sedangkan di Indonesia angka kejadian *CP* berkisar 3 – 4 dari 1.000 kelahiran hidup (Wulandari dkk., 2022).

Dalam menjalani aktivitas kesehariannya penderita *CP* membutuhkan orang lain atau alat bantu yang sesuai untuk menunjang kemampuan *ADL* penderita (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2020). Penderita *CP* mengalami kesulitan dalam mengubah posisi tubuh yang menjadi komponen dasar dalam perawatan diri seperti aktivitas mandi, berpakaian, dan kemampuan buang air secara mandiri (Chaovalit dkk., 2021). Data menunjukkan bahwa terdapat 40,8% penderita *CP* memiliki keterbatasan kemampuan motorik dasar seperti kemampuan merangkak, duduk, berdiri, berjalan dan bermain (Sadowska dkk., 2020). Sekitar 7,8% penderita *CP* menggunakan perangkat genggam dan 33,3% tidak mampu berjalan dengan skor *level of sitting scale (LSS)* 41,7% mampu duduk tanpa sandaran dan *gross motor function classification system (GMFCS)* 27% pada level IV (Rosidiana dkk., 2023).

Gangguan motorik yang dialami penderita *CP* berkaitan erat dengan *range of motion (ROM)* penderita. *Range of Motion* penderita mempengaruhi dan dipengaruhi oleh struktur anatomis seperti sendi, tulang, otot, dan ligamen penderita (Setyorini & Setyaningrum, 2019). Gangguan fungsi gerak motorik dapat disebabkan oleh limitasi sendi, peningkatan atau penurunan tonus otot, kontraktur otot dan nyeri penderita yang dapat berakibat pada penurunan rentang gerak, keseimbangan, dan berkurangnya mobilitas penderita (Jonsson dkk., 2021). *Range of motion* menjadi salah satu faktor penentu efektivitas gerak penderita. Limitasi *ROM* pada ekstremitas atas penderita dapat mempengaruhi kemampuan fungsional seperti menggapai

benda, pemeliharaan diri, makan, dan kemampuan motorik halus yang lebih kompleks. Limitasi *ROM* pada ekstremitas bawah mempengaruhi kemampuan fungsional penderita seperti *toileting*, duduk, berdiri, dan berjalan (Wibeck dkk., 2023).

Dalam prinsip penanganan fisioterapi, metode intervensi yang paling umum dan efektif diberikan pada penderita *CP* yaitu *neurodevelopmental therapy* (Primadasa & Widodo, 2022). *Neurodevelopmental therapy* bertujuan untuk meningkatkan kemampuan motorik penderita semaksimal mungkin dengan mengidentifikasi penurunan tonus otot, meningkatkan proprioseptif, memperbaiki postur, memfasilitasi pola gerak, dan meningkatkan *ROM* penderita (Te Velde dkk., 2022). *Neurodevelopmental therapy (NDT)* terdiri dari tiga prinsip, yaitu inhibisi gerak involunter dan postur abnormal penderita, fasilitasi gerak dan pola gerak dasar penderita, dan stimulasi saraf sensorik dan motorik penderita (Tekin dkk., 2018). Pada saat intervensi menggunakan metode *NDT* selama sesi terapi, fisioterapis akan menggunakan *orthosis* untuk menginhibisi gerak dan postur abnormal penderita (Prima & Achadi, 2022). Prinsip stimulasi dan fasilitasi diberikan secara manual oleh fisioterapis dengan memberikan *active-assisted* atau *passive exercise* yang sesuai dengan pola gerak dasar penderita dan *approximation* di akhir gerak serta menggunakan mainan untuk menstimulasi penderita. Hal tersebut dilakukan untuk mengaktivasi *sensomotoric integration (SMI)* penderita, melatih keterampilan motorik penderita yang pada akhirnya diharapkan penderita dapat berpartisipasi dalam aktivitas yang lebih bermakna dan mencapai peningkatan kualitas hidup (Zanon dkk., 2018).

Proses perkembangan motorik anak dimulai dari mengaktivasi *SMI* yang dapat dilakukan dengan memberikan *electrical stimulation*. Proses ini dapat terjadi karena saraf sensorik pada area stimulasi memberikan informasi pada medulla spinalis, kemudian stimulus akan diteruskan ke otak pada area 57 dan area 12 untuk diidentifikasi, kemudian impuls akan masuk ke area *extrapiramidalis* dan masuk pada *motor pathway* yang kemudian akan diteruskan ke otot (*sliding filament*), lalu terjadilah pergerakan motorik (Aras dkk., 2018).

Penderita *CP* umumnya memakai alat bantu untuk menunjang terapi dan aktivitas kesehariannya. Alat bantu ini berupa *wearable robotics* seperti *orthosis*, prostetik, dan teknologi *exoskeleton* (Fox dkk., 2020). Teknologi *exoskeleton* menjadi *wearable robotics* dengan pengembangan paling masif karena teknologi *exoskeleton* pada aplikasi rehabilitasi memberikan berbagai kemungkinan baru pemulihan rehabilitasi fisik penderita (Hasan & Dhingra, 2020). Teknologi *exoskeleton* memberikan kemungkinan perbaikan postur dan menunjang aktivitas fisik pada penderita *CP* seperti meningkatkan kemampuan motorik penderita *CP* dalam berdiri dan berjalan. Selain itu, teknologi *exoskeleton* dinilai mampu menyesuaikan kemampuan kinematik tubuh saat bergerak sehingga menghasilkan pergerakan motorik kompleks yang maksimal (Sarajchi dkk., 2021).

Wearable robotics alat bantu berupa *orthosis* hanya membantu menginhibisi gerak dan postur abnormal penderita (Prima & Achadi, 2022). Sementara itu, alat bantu berupa *walker frame* yang menerapkan prinsip fasilitasi gerak dengan pemberian roda. Perkembangan *walker frame* terbilang cukup banyak seperti menambahkan *neck support* untuk memperbaiki postur penderita (Naura dkk., 2021). Selain itu, alat rehabilitasi kembangan seperti *atlas pediatric exo* tidak menerapkan prinsip stimulasi bagi penderita (Lerner dkk., 2017). Penggunaan kedua alat bantu *orthosis* dan *walker frame* atau *atlas pediatric exo* tetaplah tidak membantu memberikan prinsip stimulasi yang juga penting bagi penderita *CP*.

Pemberian intervensi penderita *CP* membutuhkan waktu dan intensitas yang lama untuk dapat menghasilkan peningkatan kemampuan motorik, kemandirian dan akhirnya peningkatan kualitas hidup penderita. Penderita perlu melakukan terapi sepanjang hidup yang konsisten (United States Agency for International Developmental, 2018). Semakin banyak waktu dan intensitas latihan, maka akan semakin terlihat perkembangan motorik anak (Ibrahim dan Syafitri, 2022).

Dengan demikian dibutuhkan sebuah pengembangan alat rehabilitasi berteknologi *exoskeleton* yang dapat menerapkan ketiga prinsip *NDT* yang mudah dikontrol oleh keluarga sehingga bisa digunakan sesering mungkin oleh penderita. Selain itu, dibutuhkan alat yang dapat digunakan oleh penderita *CP* sesuai usia kalender dan kemampuan motorik penderita. Alat rehabilitasi dirancang agar dapat menerapkan prinsip inhibisi dengan pemasangan *brace* yang lembut dan dapat dilepas-pasang (*higiene*). Komponen utama kerangka alat haruslah dibuat dari bahan yang kuat dan ringan seperti *carbon fiber* sehingga mampu menahan gerak dan postur abnormal pada penderita *CP* (Eguren dkk., 2019). Prinsip stimulasi dapat diberikan dengan menambahkan *electrical stimulation*. Kemudian, prinsip fasilitasi akan didukung dengan pemograman *servo motor* pada sendi di setiap regio yang memiliki sudut defleksi dan torsi yang cukup besar sehingga dapat menopang gerak mekanikal penderita *CP* (Muslimin, 2018). Namun, dibutuhkan sebuah analisis lebih lanjut mengenai sudut defleksi yang dihasilkan alat untuk mengetahui apakah alat tersebut sudah sesuai dengan *ROM* normal. Selain itu, dibutuhkan sebuah uji intensitas dan frekuensi yang dihasilkan *electrical stimulation*.

Dari uraian tersebut maka penulis mengangkat judul penelitian: "Pengembangan Alat Rehabilitasi *Smart Skeleton* dengan Metode *Neurodevelopmental Therapy* dan Teknologi *Exoskeleton* bagi Penderita *Cerebral Palsy*"

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dalam latar belakang di atas, maka rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut:

- a. Bagaimana desain alat rehabilitasi *smart skeleton* yang dapat menerapkan tiga prinsip *neurodevelopmental therapy* dalam satu alat?
- b. Bagaimana mekanisme kerja *smart skeleton* dalam mengaktifkan *sensomotoric integration*, meningkatkan *ROM*, dan meningkatkan kemampuan motorik penderita *cerebral palsy*?

- c. Bagaimana besar sudut defleksi *servo motor smart skeleton* dalam memenuhi nilai *ROM* normal penderita *CP*?
- d. Bagaimana besar intensitas dan frekuensi yang dihasilkan *electrical stimulation* pada *smart skeleton*?

1.3 Tujuan

1.3.1 Tujuan Umum

Untuk menggambarkan dan menganalisis penerapan metode *NDT* dalam pengembangan alat rehabilitasi *smart skeleton* bagi penderita *CP* dengan teknologi *exoskeleton*.

1.3.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus penelitian ini sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui desain alat rehabilitasi *smart skeleton* yang dapat menerapkan tiga prinsip *NDT* dalam satu alat.
- b. Untuk mengetahui mekanisme kerja alat dalam mengaktivasi *sensomotoric integration*, meningkatkan *ROM*, dan meningkatkan kemampuan motorik penderita *CP*.
- c. Untuk mengetahui besar sudut *ROM servo motor smart skeleton* dalam memenuhi nilai *ROM* normal penderita *CP*.
- d. Untuk mengetahui besar intensitas dan frekuensi yang dihasilkan *electrical stimulation* pada *smart skeleton*.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Bidang Akademik

- a. Menjadi sumber informasi bagi pembaca mengenai gambaran penerapan metode *NDT* dalam pengembangan alat rehabilitasi bagi penderita *CP*.
- b. Menjadi bahan referensi, acuan dan sumber kepustakaan dalam penelitian dengan masalah serupa dan lebih mendalam di lingkup program studi, fakultas maupun universitas.

1.4.2 Manfaat Bidang Aplikatif

- a. Menggambarkan desain atau model pengembangan alat rehabilitasi dengan metode *NDT* bagi penderita *CP*.
- b. Merepresentasikan perkembangan teknologi robotika dalam implementasi pada bidang kesehatan.
- c. Menjadi gambaran baru pengembangan teknologi terkhusus pada bidang fisioterapi pediatri.

1.5 Teori

Neurodevelopmental therapy menjadi metode terapi intensif yang digunakan oleh terapis untuk membantu anak dengan gangguan gerak dan fungsi gerak untuk mendapatkan kemampuan motoriknya dengan mengatur respon motorik berbasis neurologi sistem saraf pusat (Khan dkk., 2022). Pendekatan *NDT* didasarkan pada gangguan motorik yang terlihat pada anak *CP* yang disebabkan oleh perkembangan atipikal yang berhubungan dengan kontrol postural dan refleks karena disfungsi pada sistem saraf pusat. Pendekatan ini sangat penting karena dapat memfasilitasi perkembangan dan fungsi motorik serta sekunder akibat kontraktur otot, kelainan

sendi, dan anggota gerak (Sari & Kuswanto, 2020). Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas *NDT* seperti penelitian yang dilakukan oleh Khan dkk (2022) yang membuktikan bahwa *NDT* dapat meningkatkan kemampuan berbaring, duduk, merangkak, berguling, hingga berdiri pada 66 penderita *CP* berusia 2 – 6 tahun. Efektivitas *NDT* juga dibuktikan oleh Sah dkk (2019) yang melakukan eksperimen pada 44 penderita *spastic CP* dengan memberikan perlakuan *task-oriented* berbasis *NDT* dan didapatkan adanya peningkatan kontrol trunk, keseimbangan, dan kemampuan motorik penderita. Selain itu, penelitian berbasis *NDT* yang dikombinasikan dengan kontrol *trunk* dan *oral motor skill therapy* yang dilakukan oleh Acar dkk (2022) menunjukkan hasil peningkatan signifikan pada kontrol *trunk* dan *oral motor skill* dari kelompok yang diberikan perlakuan.

Fisioterapi dapat memberikan latihan *NDT* dengan gerakan berulang sesuai dengan pola gerak penderita (*re-patterning*) yang bertujuan untuk mengajarkan dan menanamkan memori motorik genetik dengan memfokuskan pengulangan gerak dinamis dan postural. Selain itu, dengan *re-patterning* mengaktifkan mekanisme otak-tubuh-sistem penderita, meningkatkan koordinasi sensorik-motorik gerakan disadari (Sopandi & Nesi, 2021).

Metode *NDT* terdiri dari tiga prinsip utama yaitu inhibisi untuk kontrol postur dan gerak abnormal penderita, fasilitasi gerak dan pola gerak dasar penderita, dan stimulasi pada sistem saraf sensorik dan motorik penderita (Tekin dkk., 2018). Metode ini dilakukan selama sesi rehabilitasi penderita. Metode ini akan menghasilkan sebuah *sensomotoric integration* sebagai proses kompleks dari sistem saraf untuk menghasilkan respon motorik penderita (Prima & Achadi, 2022).

Teknologi *exoskeleton* berupa struktur mekanis dapat digunakan manusia untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan saat bekerja dan mengurangi penyebab gangguan muskuloskeletal. *Exoskeleton* dilengkapi dengan beberapa komponen seperti, sensor, aktuator, dan motor sehingga disebut dengan *wearable robotics* (Fox dkk., 2020). Penerapan teknologi *exoskeleton* dalam rehabilitasi berbasis *neurorehabilitation* memberikan berbagai kemungkinan pemulihan yang dinilai efektif dalam rehabilitasi terapi fisik (Hasan & Dhingra, 2020).

Dalam pembuatan alat rehabilitasi dengan teknologi *exoskeleton* harus memperhatikan biomekanik tubuh agar sesuai dengan kaidah ergonomi. Alat bantu harus dibuat kompatibel terhadap nilai *ROM* normal dan penempatan aktuator yang selaras dengan anatomi tubuh manusia. Terdapat beberapa cara untuk mengukur efektivitas *exoskeleton* yaitu beban maksimum angkat, torsi *servo motor*, dan besaran nilai *ROM*. Dalam membuat alat rehabilitasi dengan teknologi *exoskeleton* juga pengaruh dari luar seperti lingkungan, tempat tinggal, posisi anatomi tubuh, tekanan dan daya tarik otot harus diperhatikan (Nazari dkk., 2023). Kriteria mekanis pembuatan alat rehabilitasi adalah kenyamanan, kemampuan manuver, bobot, kekuatan struktural, kemampuan beradaptasi, dan keamanan. Alat harus dibuat dengan memperhatikan bentuk tubuh, kondisi patofisiologi tubuh, ukuran tubuh, karakteristik perubahan gerak atau pola gerak tubuh, pergeseran pusat putaran *servo motor*, dan kerangka ringan dan kuat (Suhaimi dkk., 2021).

Besaran inersia dan torsi yang dihasilkan akan menentukan besaran *power supply* yang dibutuhkan oleh alat. *Exoskeleton* portable menggunakan baterai yang dapat diisi ulang seperti lithium-ion, nickle metal hydride, dan nickle zinc. *Exoskeleton* non-portable biasanya secara langsung tersambung dengan sumber listrik dan memiliki daya yang lebih besar (Yeem dkk., 2019).

Terdapat beberapa *exoskeleton* yang telah berkembang pada penderita *CP*. Teknologi yang dikembangkan oleh Mustikasari dkk (2019) berupa *pediatric walker* memiliki performasi yang lebih tinggi daripada *walker* yang biasa digunakan karena dalam pembuatan desain dan mekanisnya kaidah ergonomi tidak ditinggalkan. Teknologi yang dikembangkan oleh Delgado dkk (2021) berupa *ATLAS pediatric exo* yang memiliki efisiensi desain lebih baik karena menggunakan aktuator yang dapat meningkatkan *ROM* pada *hip*, *knee*, dan *ankle* serta penurunan spastisitas setelah menggunakan *ATLAS pediatric exo* selama 10 pertemuan. Selain itu, penelitian yang dikembangkan oleh Orekhov dkk (2020) mengembangkan *ankle exoskeleton* yang dapat meningkatkan kecepatan berjalan dan menurunkan kebutuhan energi dalam mobilitas pengguna.

Exoskeleton dapat mengaktivasi *SMI*, meningkatkan *ROM*, dan meningkatkan kemampuan motorik penderita. *Exoskeleton* yang dikembangkan oleh Shideler dkk (2020) menambahkan *electrical stimulation* pada *knee* penderita dan menunjukkan hasil uji coba berupa peningkatan kemampuan ekstensi *knee* ketika fase *midstance* saar berjalan. Penggunaan *electrical stimulation* pada rehabilitasi penderita *CP* terbilang cukup umum dilakukan karena dinilai dapat meningkatkan kemampuan motorik penderita (Salazar dkk., 2019).

Tabel 1. *Literature Review*

No	Judul Jurnal	Gap Latar Belakang	Metode			Hasil	Kesimpulan	Keterangan Berdasarkan Pemikiran Penulis
			Sampel	Variabel	Alat ukur			
1	Effects of neurodevelopmental therapy on gross motor function and postural control in children with spastic cerebral palsy: A randomized controlled trial. (Khandkk., 2022)	<i>Cerebral palsy</i> adalah salah satu penyebab kecacatan permanen paling umum pada masa anak-anak yang mempengaruhi kemampuan motorik dan kontrol postural. Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh <i>neurodevelopmental therapy</i> terhadap kontrol postur dan kemampuan motorik pada anak dengan	66 penderita <i>cerebral palsy</i> berusia 2 – 6 tahun.	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Neurodevelopmental therapy</i> 2. <i>Gross motor function classification system</i> 3. <i>Postural control</i> 4. <i>Spastic cerebral palsy</i>. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Gross motor function classification system</i> 2. <i>Posture and postural ability scale</i> 	Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan motorik ($p \leq 0,05$) yang signifikan pada dengan metode <i>Neurodevelopmental Therapy</i> pada minggu ke-4, minggu ke-8, dan minggu ke-12 dengan menggunakan uji <i>gross motor function classification system</i> dan	Kesimpulan penelitian ini yaitu anak dengan <i>cerebral palsy spastic</i> yang menerima terapi menggunakan pendekatan metode <i>neurodevelopmental therapy</i> menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam fungsi motorik kasar dan kontrol postur.	Pada penelitian ini <i>Neurodevelopmental therapy</i> menunjukkan hasil signifikan pada variasi gerak seperti berbaring, duduk, merangkak, berguling, hingga berdiri. Namun, kemampuan berjalan, berlari, dan melompat tidak menunjukkan adanya perubahan.

		<i>spastic cerebral palsy</i>				<i>posture and postural ability scale.</i>		Penelitian lanjutan harus dilakukan.
2	Effectiveness of neurodevelopmental treatment (bobath concept) on postural control and balance in cerebral palsied children. (Tekin dkk., 2018)	Penelitian ini menguji efektifitas <i>neurodevelopmental therapy</i> pada penderita <i>diparetic</i> dan <i>hemiplegic cerebral palsy</i> . Tujuan penelitian ini yaitu untuk menunjukkan efek dari pemberian latihan postur dan keseimbangan berbasis <i>neurodevelopmental therapy</i> selama 8 minggu.	15 penderita <i>cerebral palsy</i> berusia 5 – 15 tahun.	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Neurodevelopmental therapy</i> 2. <i>Postural control</i> 3. <i>Balancing</i> 4. <i>Diplegic dan hemiplegic cerebral palsy</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Gross motor function classification system</i> 2. <i>1-Minute walking test</i> 3. <i>Modified time up and go test</i> 4. <i>Pediatric balance scale</i> 5. <i>Functional independent measure</i> 	Hasil penelitian menunjukkan peningkatan fungsi kemampuan motorik ($p \leq 0,05$) dan peningkatan keseimbangan dan kemandirian ($p \leq 0,05$) secara signifikan setelah menerima terapi dengan metode <i>neurodevelopmental therapy</i> selama 8 minggu.	Kesimpulan penelitian ini yaitu pemberian metode <i>neurodevelopmental therapy</i> berbasis postur dan <i>balancing exercise</i> efektif untuk meningkatkan fungsi motorik dan kemandirian penderita <i>diplegic</i> dan <i>hemiplegic cerebral palsy spastic</i> .	Pada penelitian ini sampel mengalami perubahan kemampuan berjalan menjadi lebih cepat dan aman. Keterbatasan penelitian ini terletak pada tidak adanya kelompok kontrol sebagai pembanding hasil eksperimen.
3	The Effects of	Penelitian ini fokus pada	40 penderita	1. <i>Neurodevelopmental</i>	1. <i>Trunk Impairm</i>	Hasil penelitian	Kesimpulan penelitian ini	Pada penelitian ini

<p>Neurodevelopmental Therapy on Feeding and Swallowing Activities in Children with Cerebral Palsy. (Acar dkk., 2022)</p>	<p>stabilisasi leher dan <i>trunk</i> penderita yang diharapkan dapat memberikan pengaruh pada <i>oropharangeal</i> penderita sehingga aktivitas makan dan menelan dapat meningkat. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui peningkatan kontrol <i>trunk</i>, mengurangi durasi lama makan, mengurangi sakit dan ketidaknyamanan saat makan, dan peningkatan kualitas hidup penderita <i>CP</i>.</p>	<p>a <i>cerebral palsy</i> berusia 18 – 54 bulan yang mengalami keterbatasan makan dan menelan</p>	<p>2. <i>Feeding activities</i> 3. <i>Swallowing activities</i> 4. <i>Cerebral palsy</i></p>	<p>2. <i>Schedule for oral motor assessment</i> 3. <i>Pediatric quality of life</i></p>	<p>menunjukkan bahwa kelompok yang menerima <i>Oral Motor Intervention Strategies, Nutrition-related Caregiver Training</i>, dan <i>neurodevelopmental therapy</i> memiliki kontrol <i>trunk</i> dan peningkatan kemampuan motorik yang lebih baik daripada kelompok yang tidak menerima perlakuan. Selain itu, terdapat</p>	<p>yaitu latihan berbasis <i>neurodevelopmental therapy</i> yang dikombinasikan dengan <i>swallowing/oral motor skill therapy</i> memberikan manfaat lebih baik. Latihan stabilisasi leher dan <i>trunk</i> berbasis <i>neurodevelopmental therapy</i> harus ditingkatkan untuk meningkatkan fungsi makan dan disfungsi motorik <i>oropharangeal</i> penderita.</p>	<p>penderita <i>CP</i> mendapatkan perlakuan secara heterogen dalam artian tidak memisahkan derajat keparahan kondisi penderita sehingga manfaat perlakuan tidak ada data statistik pemisah. Kekurangan penelitian ini terdapat pada alat ukur berupa <i>pediatric quality of life</i> yang tidak mencakup secara khusus</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

						korelasi yang signifikan antara kontrol <i>trunk</i> dan fungsi motorik <i>oropharangeal</i> pada penderita.		aktivitas makan dan menelan
4	Effects of task-oriented activities based on neurodevelopmental therapy principles on trunk control, balance, and gross motor function in children with spastic diplegic cerebral	Penelitian ini dilakukan atas dasar kurangnya literatur mengenai efek <i>neurodevelopmental therapy</i> terhadap kontrol postural penderita CP. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pemberian <i>task-oriented training</i> berbasis <i>neurodevelopmental therapy</i> terhadap kontrol	44 penderita a <i>spastic diplegic cerebral palsy</i> berusia 7 – 15 tahun.	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Task-oriented activities</i> berbasis <i>neurodevelopmental therapy</i> 2. <i>Trunk control</i> 3. <i>Balancing</i> 4. <i>Gross motor function</i> 5. <i>Spastic diplegic cerebral palsy</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Gross motor function classification system</i> 2. <i>Postural assessment scale</i> 3. <i>Pediatric balance scale</i> 4. <i>Trunk impairment scale</i> 	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelompok yang mendapatkan perlakuan <i>task-oriented activity</i> berbasis <i>neurodevelopmental therapy</i> memiliki peningkatan kemampuan motorik lebih baik pada semua uji	Kesimpulan penelitian ini yaitu <i>task-oriented activity</i> berbasis <i>neurodevelopmental therapy</i> lebih bermanfaat dalam meningkatkan kontrol <i>trunk</i> , keseimbangan, dan kemampuan motorik penderita daripada	Penelitian ini hanya berfokus pada satu tipe penderita <i>cerebral palsy</i> sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut efek <i>Task-oriented activities</i> berbasis <i>neurodevelopmental therapy</i> terhadap tipe CP lain. Selain itu, terdapat

	palsy: A single-blinded randomized clinical trial. (Sah dkk., 2019)	<i>trunk</i> , keseimbangan, postur tubuh, dan fungsi motorik kasar pada penderita <i>spastic diplegic cerebral palsy</i> .				daripada kelompok yang mendapatkan terapi konvensional.	terapi konvensional.	reaksi tidak terkontrol yang berkemungkinan besar berdampak pada hasil penelitian.
5	The effect of combined transcranial pulsed current stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation on lower limb spasticity in children with spastic cerebral	Penelitian ini menggunakan kombinasi modalitas berupa neuromodulasi non-invasif dan <i>transcutaneous electrical nerve stimulation</i> . Tujuan penelitian ini untuk menemukan strategi baru dalam meningkatkan spasticitas ekstremitas bawah penderita <i>spastic cerebral</i>	63 penderita <i>cerebral palsy</i> berusia 2 – 12 tahun dengan <i>Gross Motor Function Classification System</i> pada level 3 – 5.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Neuromodulasi non-invasif 2. <i>transcutaneous electrical nerve stimulation</i> 3. <i>Spastic cerebral palsy</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Modified ashworth scale</i> 2. <i>Modified tardieu scale</i> 	Hasil penelitian menunjukkan terdapat peningkatan nilai <i>Modified Ashworth Scale</i> pada <i>adductor muscle</i> , <i>hamstrings</i> , dan <i>gastrocnemius muscle</i> . Selain itu terdapat peningkatan skor <i>Modified Tardieu Scale</i> pada adduksi	Kesimpulan penelitian ini yaitu kombinasi dari <i>transcranial pulsed current stimulation</i> dan <i>transcutaneous nerve electrical stimulation</i> secara signifikan dapat meningkatkan spasticitas dengan efek samping	Pada penelitian ini tidak terdapat stimulasi pembanding sehingga efek placebo tidak dapat dikesampingkan. Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait identifikasi kontribusi elektroda dan efek interaksi stimulus.

	palsy: a randomized and controlled clinical study. (Z. Liu dkk., 2021)	<i>palsy</i> yang memiliki nilai <i>GMFCS</i> pada level 3 – 4 dengan efek samping minimal.				<i>hip</i> kanan dan kiri, <i>knee joint</i> , dan <i>ankle joint</i> .	minimal pada penderita <i>cerebral palsy</i> dengan <i>Gross Motor Function Classification System</i> pada level 3 – 5.	
6	Exoskeletons: Comprehensive, comparative and critical analyses of their potential to improve manufacturing performance. (Fox dkk., 2020)	Penelitian ini membahas terkait <i>exoskeleton</i> sebagai struktur mekanis yang dapat dipakai manusia untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan. Tujuan dari penelitian ini yaitu menjelaskan bagaimana <i>exoskeleton</i> dapat digunakan untuk meningkatkan	8 tipe <i>exoskeleton</i> yang berbeda.	1. <i>Exoskeleton</i> 2. <i>Manufacturing performance</i>	<i>PRISMA guideline</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa setidaknya ada delapan jenis <i>exoskeleton</i> berbeda yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan manusia.	Kesimpulan penelitian ini yaitu penggunaan teknologi <i>exoskeleton</i> memiliki kekurangan seperti memperburuk fleksibilitas manusia sehingga dalam penggunaan <i>exoskeleton</i> perlu sebuah perencanaan	Penelitian ini merupakan <i>multivocal</i> literatur review yang membahas terkait <i>gap</i> antara <i>grey literature</i> dan <i>formal science literature</i> secara komprehensif, komparatif, dan analisis kritis.

		kinerja fase manufaktur.					kesehatan dan keselamatan untuk menghindari efek gangguan muskuloskeletal.	
7	A study on the efficacy of AFO stiffness prescriptions. (Vasiliauskaitė dkk., 2021)	<i>Ankle foot orthosis</i> adalah karakteristik utama yang menentukan seberapa besar dukungan atau kemampuan inhibisi yang dapat diberikan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengukur dosis pemakaian <i>ankle foot orthosis</i> pada kelompok sampel dan untuk mengevaluasi dampak <i>ankle foot orthosis</i>	6 pasien yang memenuhi kriteria inklusi meliputi kemampuan ambulasi, kekuatan otot, dan tonus otot.	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Ankle foot orthosis</i> 2. <i>Stiffness prescriptions</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Oxford scale</i> 2. <i>Modified ashworth scale</i> 	Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada peningkatan signifikan pada kecepatan berjalan. Namun, pada pasien yang memiliki tingkat kepatuhan baik terdapat peningkatan kekuatan pergelangan kaki dan	Kesimpulan penelitian ini yaitu kuantifikasi kekakuan <i>ankle foot orthosis</i> dapat membantu memahami mengapa intervensi ortotik tertentu berhasil dan tidak sehingga pada akhirnya dapat menghasilkan formula <i>ankle foot orthosis</i>	Penelitian ini memiliki kekurangan berupa sedikitnya sampel yang pada akhirnya menjadi representasi dari penggunaan <i>ankle foot orthosis</i> pada rehabilitasi. Namun, secara sederhana penelitian ini dapat digunakan

		terhadap fase berjalan.				kecepatan berjalan yang meningkat	yang lebih baik.	untuk memahami dan menilai efek orthosis.
8	Perancangan ulang pediatric walker untuk anak-anak dengan spastic diplegic cerebral palsy menggunakan metode universal design. (Mustikasari dkk., 2019)	Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat rehabilitasi berupa <i>walker frame</i> yang dapat bekerja secara optimal pada kondisii anak dengan <i>spastic diplegic cerebral palsy</i> , perancangan dilakukan menggunakan metode <i>universal design</i> .	5 responden berupa terapis dan pengguna dengan tinggi badan 70 – 100cm	1. <i>Pediatric walker</i> 2. <i>Spastic diplegic cerebral palsy</i>	<i>Uji gait performance (speed, cadence, step length, souble support time, dan single support time)</i>	Hasil penelitian rancang bangun menunjukkan bahwa <i>Pediatric Walker</i> memiliki performasi yang lebih tinggi daripada <i>walker</i> sebelumnya baik secara anterior maupun posterior. Pada pengujian diketahui bahwa <i>Pediatric</i>	Kesimpulan dari penelitian ini yaitu <i>peditric walker</i> dinilai layak untuk digunakan pada penderita <i>CP</i> dengan penggunaan disesuaikan pada keadaan dan lingkungan sekitar pengguna. <i>Pediatric walker</i> dapat membuat rehabilitasi berjalan terkhusus	Perancangan <i>peditric walker</i> disesuaikan dengan kebutuhan rancangan <i>walker</i> yang meliputi berbagai aspek seperti <i>equitable in use, flexibility in use</i> , dapat diadjustable, dan <i>low physical effort</i> . Namun, <i>peditric walker</i> ini belum memiliki media pengaman

						Walker menghasilkan nilai <i>gait performance</i> yang lebih tinggi dan konsumsi energi lebih rendah.	penderita dengan kondisi <i>spastic cerebral palsy</i> menjadi lebih efisien.	bagi pengguna.
9	Toward a hybrid exoskeleton for crouch gait in children with cerebral palsy: Neuromuscular electrical stimulation for improved knee extension.	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek <i>neuromuscular electrical stimulation</i> pada kelainan gaya berjalan yang lebih kompleks pada penderita CP seperti fleksi <i>knee</i> pada gaya berjalan. Penelitian ini dilakukan juga untuk mengetahui tingkat stimulasi yang dapat di	seorang laki-laki penderita <i>a cerebral palsy spastic bilateral</i> berusia 15 tahun.	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Hybrid exoskeleton</i> 2. <i>Gait analysis</i> 3. <i>Neuromuscular electrical stimulation</i> 4. <i>Knee extension</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Gross motor function classification system</i> 2. <i>Modified ashworth scale</i> 	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian <i>Neuromuscular Electrical Stimulation</i> meningkatkan kemampuan ekstensi <i>knee joint</i> Ketika fase <i>midstance</i> saat berjalan.	Pemberian <i>electrical stimulation</i> pada quadriceps (<i>musculus vastus lateralis</i> dan <i>musculus rectus femoris</i>) yang tepat dapat menjadi salah satu pengobatan yang menjanjikan untuk melatih pola gerak berjalan dalam	Dalam penelitian ini <i>hybrid exoskeleton</i> dibuat dengan menggunakan <i>neuromuscular electrical stimulation</i> dan <i>orthotic brace</i> untuk mengontrol fleksi <i>knee</i> selama berjalan. Kekurangan dari penelitian ini yaitu jumlah

	(Shideler dkk., 2020)	torelansi oleh pasien dan ketepatan waktu pada siklus gaya berjalan.					rehabilitasi penderita <i>cerebral palsy</i> yang mengalami <i>spastic</i> pada fleksi <i>knee</i> serta gangguan pediatri lainnya	sampel yang hanya satu orang sehingga berbagai kemungkinan lain tidak didapatkan.
10	Gait improvements by assisting hip movements with the robot in children with cerebral palsy: A pilot randomized controlled trial.	<i>Exoskeleton</i> menjadi harapan baru dalam peningkatan gaya berjalan dan kemampuan motorik penderita CP. Namun, hanya sedikit penelitian yang membahas mengenai perubahan kinematik dan kinetik <i>exoskeleton</i> . Tujuan dari	10 anak penderita <i>cerebral palsy spastic</i> dengan <i>Gross Motor Function Classification System</i> level 1-3	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Gait improvements</i> 2. <i>Hip movement</i> 3. <i>Cerebral palsy</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Gross motor function classification system</i> 2. <i>Honda walking assist</i> 	Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat interaksi yang signifikan antara <i>robot-assisted gait training</i> dan <i>non-assisted gait training</i> dengan adanya peningkatan maksimum <i>hip</i>	Kesimpulan penelitian ini yaitu menggabungkan <i>robot-assisted gait training (Honda Walking Assist)</i> dan latihan pola berjalan penderita dapat menjadi solusi yang efektif dalam	Pada penelitian ini memiliki limitasi karena jumlah sampel yang sedikit dan tidak cukup untuk menggeneralisasi dampak pada anak CP.

	(Kawasaki dkk., 2020)	penelitian ini yaitu untuk mengetahui perubahan parameter gaya berjalan pada penderita <i>CP</i> melalui pelatihan gaya berjalan.			<p><i>angle</i> pada tungkai ketika <i>hip</i> bergerak. Pada ekstremitas atas terdapat peningkatan signifikan setelah berlatih menggunakan <i>robot-assisted gait training</i> tetapi tidak ada peningkatan pada <i>non-assisted gait training</i>. Namun, baik <i>robot-assisted gait training</i> maupun <i>non-assisted gait training</i> tidak menunjukkan adanya peningkatan</p>	meningkatkan kemampuan berjalan dan pola berjalan bagi penderita <i>cerebral palsy</i> .	
--	-----------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	--

						kecepatan berjalan.		
11	Use of robot-assisted gait training in pediatric patients with cerebral palsy in an inpatient setting—A randomized controlled trial. (Moll dkk., 2022)	Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dampak <i>robot-assisted gait training</i> pada pasien anak dengan <i>CP</i> dengan menggunakan <i>hybrid assistive limb</i> dalam rawat inap 11 hari di rumah sakit.	30 penderita a <i>spastic cerebral palsy</i> berusia 9 – 17 tahun.	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Robot-assisted gait training</i> 2. <i>Cerebral palsy</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>10-metre walking test</i> 2. <i>6-minutes walking test</i> 3. <i>Gross motor function classification system</i> 4. <i>Lower extremities passive range of motion</i> 	Hasil penelitian menunjukkan bahwa <i>robot-assisted gait training</i> dapat memberikan dampak positif secara klinis, meskipun belum berdampak secara signifikan terhadap parameter gaya berjalan penderita <i>cerebral palsy</i> . Perubahan <i>gross motor function classification system</i> dan dimensi	Kesimpulan penelitian <i>robot-assisted gait training</i> memberikan dampak positif sebagai pelengkap terapi rawat inap. Namun, tidak tidak signifikan parameter gaya berjalan pasien <i>CP</i> terhadap motivasi untuk berlatih berjalan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi faktor yang	<i>Robot-assisted gait training</i> memberikan dukungan berjalan berbasis tugas pada <i>exoskeleton</i> . Bukti menunjukkan efek moderat namun positif dalam terapi pasien dengan <i>CP</i> . Penelitian menyelidiki dampak <i>Robot-assisted gait training</i> terhadap kecepatan berjalan dan

						kemampuan berdiri, berlari, dan melompat menunjukkan hasil signifikan.	mempengaruhi.	<i>gaya berjalan pendetita.</i>
12	Improving the Energy Cost of Incline Walking and Stair Ascent with Ankle Exoskeleton Assistance in Cerebral Palsy. (Fang dkk., 2022)	Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memvalidasi secara klinis keakuratan dan kemanjuran <i>ankleexoskeleton</i> selama berjalan di tanjakan dan menaiki tangga pada individu dengan <i>CP</i> . Selain itu, untuk menilai keamanan dan kelayakan penggunaan <i>ankle exoskeleton</i> di lingkungan.	7 penderita <i>cerebral palsy</i> dengan <i>gross motor function classification system</i> pada level 1-3 berusia 11 – 33 tahun.	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Energy cost</i> 2. <i>Incline walking</i> 3. <i>Stair Assistance with ankle exoskeleton</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>6-minutes walking test</i> 2. <i>5-minutes stair ascent</i> 	Hasil penelitian menunjukkan akurasi pengontrolan pada saat berjalan dan menaiki tangga yaitu 85% dan 81% terhadap momen biologis pergelangan kaki. Pembebanan energi berkurang pada kondisi kemiringan yang stabil	Perangkat membantu mengurangi pembebanan otot soleus dan vastus lateralis. Bantuan <i>exoskeleton</i> pada <i>ankel joint</i> membantu meningkatkan energi pada kondisi berjalan dan menaiki tangga dan kinerja <i>ankle joint</i> meningkat	Penilaian terhadap perubahan aktivitas otot saat menyelesaikan uji coba jalan berbantuan menunjukkan penurunan upaya otot pada sendi pergelangan kaki dan lutut. Hal tersebut berarti <i>ankle exoskeleton</i> mengurangi beban energi saat berjalan.

						dibandingkan tanpa perangkat	pada penderita <i>cerebral palsy</i> .	
13	Wearable Lower-Limb Exoskeleton for Children With Cerebral Palsy : A Systematic Review of Mechanical Design, Actuation Type, Control Strategy, and Clinical Evaluation. (Sarajchi dkk., 2021)	Penelitian mengenai <i>wearable exoskeleton</i> untuk anak <i>CP</i> terbilang masih baru. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan tinjauan sistematis mengenai <i>lower-limb exoskeleton</i> yang telah meningkat secara signifikan beberapa tahun terakhir.	17 artikel terkait <i>lower-limb exoskeleton</i>	1. <i>Wearable lower-limb exoskeleton</i> 2. <i>Children with cerebral palsy</i>	<i>PRISMA guidelines</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa <i>knee exoskeleton, brushless DC motors, hierarchy control architecture, spastic diplegia cerebral palsy</i> menjadi desain mekanis, tipe aktuator, strategi kontrol, dan karakteristik klinis paling umum dalam pengembangan <i>lower-limb exoskeleton</i> .	Studi klinis menyarankan <i>foot orthosis</i> sebagai prioritas utama Solusi pola gaya berjalan penderita <i>cerebral palsy</i> . Penelitian ini menunjukkan bahwa diperlukan lebih banyak penelitian dan kontribusi untuk menghadapi tantangan indikasi <i>lower-limb exoskeleton</i> .	Penelitian ini merupakan <i>systematic review</i> yang dilakukan untuk mendapatkan <i>gap</i> tinjauan teknis dan klinis <i>wearable lower-limb exoskeleton</i> pada anak dengan <i>CP</i> .

14	<p>ATLAS2030 pediatric gait exoskeleton : Changes on range of motion, strength and spasticity in children with cerebral palsy. A case series study. (Delgado dkk., 2021)</p>	<p><i>Exoskeleton</i> Atlas2030 adalah perangkat pediatrik yang memungkinkan rehabilitasi gaya berjalan untuk anak-anak dengan patologi neurologis atau neuromuskular dengan patologi gaya berjalan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perubahan <i>range of motion</i>, kekuatan dan spastisitas pada anak dengan <i>CP</i> setelah menggunakan Atlas2030.</p>	<p>3 penderita a <i>cerebral palsy</i> berusia 6 – 8 tahun dengan <i>gross motor function classification system</i> pada level 3 dan 4</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Range of motion</i> 2. <i>Strength ening</i> 3. <i>Spasticity</i> 4. <i>Cerebral palsy</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Hand-held dynamometer</i> 2. <i>Modified ashworth scale</i> 3. <i>Range of motion measurement</i> 	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan pemberian intervensi <i>robot-assisted gait training</i> dengan menggunakan ATLAS2030 selama 55 menit dalam satu bulan terdapat peningkatan performa sampel. Kekuatan otot meningkat dan peningkatan <i>range of motion (hip dan knee ekstensi dan dorso fleksi ankle)</i> pada pertemuan ke-</p>	<p><i>Range of motion, spasticity</i>, dan kekuatan otot meningkat setelah menggunakan Atlas2030 berteknologi <i>exoskeleton</i>. Namun, masih dibutuhkan penelitian lebih lanjut dengan sampel yang lebih besar untuk mengonfirmasi temuan.</p>	<p>Atlas2030 menggunakan aktuator besar sehingga alat dapat mencapai kondisi seimbang ketika dioperasikan.</p>
----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

						10. Spastisitas menurun pada pertemuan terakhir setelah menggunakan <i>exoskeleton</i> dibandingkan keadaan awal.		
15	Ankle exoskeleton assistance increases six-minute walk test performance in cerebral palsy. (Conner dkk., 2021)	Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh pemberian <i>exoskeleton</i> dorsiflexor dan plantar fleksor <i>ankle</i> bertenaga baterai terhadap kinerja dan efisiensi <i>6-minutes walking test</i> pada anak-anak dan dewasa muda penderita CP dengan membandingkan	7 penderita <i>cerebral palsy</i> berusia 11 – 18 tahun dengan <i>gross motor function classification system</i> pada level 1 – 3.	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Ankle exoskeleton assistance</i> 2. <i>Walking performance</i> 3. <i>Cerebral palsy</i> 	<i>6-minutes walking test</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel dapat berjalan lebih jauh secara signifikan selama uji dibandingkan sebelum pengujian. Seluruh sampel melampaui perbedaan klinis minimum	Ankle exoskeleton dapat secara signifikan meningkatkan kinerja <i>6-minutes walking test</i> pada individu dengan gangguan gaya berjalan ringan hingga sedang akibat CP, sehingga mendukung penggunaan intervensi ini	Penelitian ini membandingkan jalan dengan alat bantu dan tanpa alat bantu apapun, walau umumnya penderita CP menggunakan orthosis. Manfaat dari penggunaan <i>ankle exoskeleton</i> harus dibandingkan

		jarak berjalan di bawah <i>exoskeleton</i> yang dibantu (<i>Assisted</i>) dan tanpa alat (<i>Shod</i>).				penderita <i>cerebral palsy</i> . Terdapat juga peningkatan kemampuan melintasi hambatan selama pengujian.	untuk meningkatkan mobilitas fungsional dan kapasitas berjalan.	dengan orthosis untuk memberikan pembeda yang lebih signifikan.
16	Design and control of a single-leg exoskeleton with gravity compensation for children with unilateral cerebral palsy. (Sarajchi & Sirlantzis, 2023)	Penelitian menunjukkan bahwa <i>lower-limb exoskeleton</i> mempunyai potensi yang signifikan untuk meningkatkan kemampuan berjalan anak dengan CP. Namun, jumlah <i>lower-limb exoskeleton</i> masih sangat terbatas dan belum adanya <i>single-leg</i>	4 penderita a <i>cerebral palsy</i> berusia 6 – 12 tahun dengan <i>gross motor function classification system</i> .	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Single-leg extention</i> 2. <i>Gavity compensation</i> 3. <i>Unilateral cerebral palsy</i> 	<i>Kinematic exoskeleton (Denavit-Haetenberg Methode dan geometric approach system)</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat <i>single-leg exoskeleton</i> dapat digunakan pada penderita <i>cerebral palsy</i> berusia 8 – 12 tahun (perangkat <i>adjustable</i>) dengan <i>gross motor function</i>	Penelitian ini menganalisis berbagai ukuran tubuh untuk mengakomodasi beragam dimensi fisik kelompok ini. <i>Brushless Motor DC</i> dan <i>harmonic drive gear</i> dipilih karena efisiensinya. Penelitian ini dikelola oleh sistem kontrol	Penelitian ini membuat prototipe dengan memperhatikan aspek motoris, sensoris, dan aktuator pada <i>gait pattern dynamic</i> dan uji matrix.

		<i>exoskeleton</i> sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan merancang <i>single-leg exoskeleton</i> yang dikembangkan secara khusus pada anak <i>CP</i> .				<i>classification system</i> pada level 1 – 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat dapat mengikuti pola gaya berjalan yang telah ditentukan dan sesuai dengan <i>gait analysis</i> dengan akurasi tinggi	tertanam, dilengkapi fitur mekanis, sensoris, dan mempertimbangkan tonus otot dan kelenturan pada anak <i>CP</i> .	
17	Passive exoskeleton with gait-based knee joint support for individuals with cerebral palsy.	Penelitian ini memperkenalkan <i>passive exoskeleton</i> yang bertujuan untuk menopang sendi lutut selama berdiri pada individu dengan <i>CP</i> . <i>Exoskeleton</i>	3 volunteer dewasa dan seorang penderita paraplegia <i>cerebral</i>	1. <i>Passive exoskeleton</i> 2. <i>gait based knee joint support</i> 3. <i>cerebral palsy</i>	1. <i>gait analysis (motion capture system by vicon max dan t-test)</i> 2. <i>electromyography</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat penurunan besar <i>range of motion</i> pada <i>hip joint</i> dan indeks	Kesimpulan dari penelitian ini yaitu terciptanya solusi hemat biaya dan <i>exoskeleton</i> yang ringan dengan hasil menunjukkan	Penelitian ini menunjukkan bahwa dalam pembuatan <i>exoskeleton</i> komponen mekanis menjadi hal yang sangat penting.

	(Kennard dkk., 2022)	<p>ini menggunakan cakram hidrolik yang digerakkan hanya dengan berat badan. Metode kontrol pasis berbasis gaya berjalan ini menawarkan <i>exoskeleton</i> yang ringkas, ringan, dan sederhana. Eksperimen awal dilakukan untuk menguji kemampuan mekanik, keamanan, dan fungsi perangkat.</p>	<p><i>palsy</i> berusia 21 tahun</p>			<p>koaktivasi otot juga berkurang pada sisi kiri dan kanan. Pada sampel volunteer dewasa, terjadi pengurangan pembebanan tubuh pada sudut yang terbentuk di <i>knee joint</i> saat berdiri. Pada sampel penderita <i>cerebral palsy</i>, terjadi penurunan besar sudut <i>hip joint</i> pada kaki kanan dan kiri. Selain itu, terjadi penurunan aktivitas otot</p>	<p>potensi untuk meningkatkan gaya berjalan dan berjongkok dengan menambahkan gaya pada <i>knee joint</i> saat berdiri. <i>Passive exoskeleton</i> dipercaya mampu mengurangi fleksi <i>hip</i> dan <i>knee</i> bagi Sebagian besar sampel dan memiliki manfaat pada kelompok otot tertentu.</p>	<p>Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan meningkatkan kontrol berbasis gaya berjalan pada individu dengan <i>CP</i>.</p>
--	----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

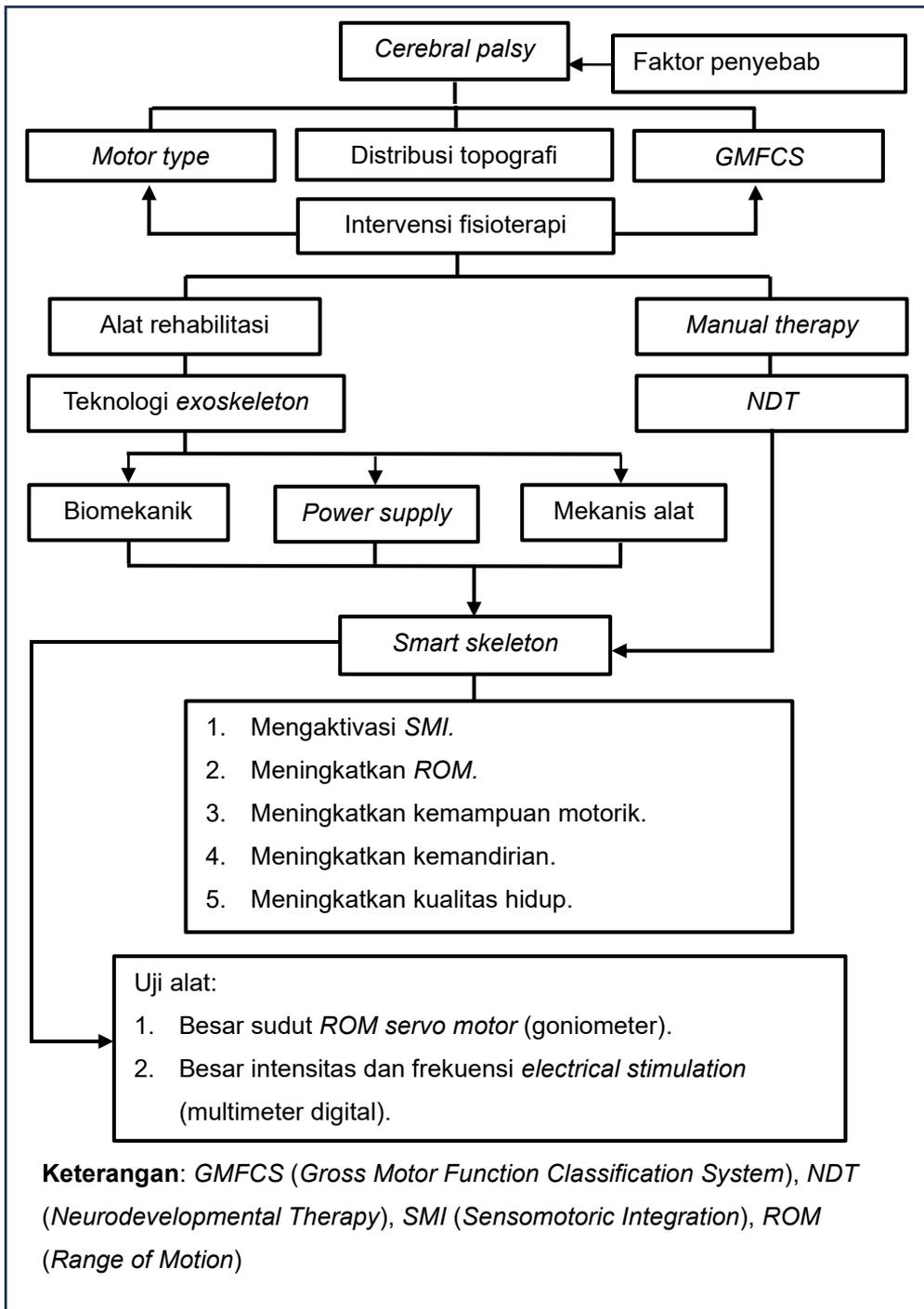
						pada otot <i>hamstring</i> , otot <i>quadriceps</i> , otot <i>tensor fascia latae</i> , dan otot <i>tibialis anterior</i> .		
18	Ankle exoskeleton assistance can improve over-ground walking economy in individuals with cerebral palsy. (Orekhov dkk., 2020)	Penderita <i>cerebral palsy</i> mengalami penurunan kualitas hidup akibat kurangnya mobilitas dan kemandirian. <i>Exoskeleton</i> pada ekstremitas bawah berpotensi membantu mobilitas, namun hanya sedikit penelitian yang menyelidiki penggunaannya saat berjalan di atas tanah.	6 penderita <i>cerebral palsy</i> berusia 9 – 31 tahun dengan <i>gross motor function classification system</i> pada level 1 – 3.	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Ankle exoskeleton</i> 2. <i>Over ground walking economy</i> 3. <i>Cerebral palsy</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Electro myography</i> 2. <i>Gait analysis</i> 	Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat peningkatan kecepatan berjalan 4,5%, penurunan aktivitas soleus 4% dan penurunan kebutuhan energi 2,6% saat berjalan. Hal ini membuktikan bahwa <i>ankle exoskeleton</i>	Kesimpulan dari penelitian ini yaitu <i>ankle exoskeleton</i> mengurangi kebutuhan energi, meningkatkan kecepatan berjalan di atas tanah, dan mengurangi aktivitas soleus. Pelatihan gaya berjalan dengan bantuan	Penelitian ini menunjukkan bahwa <i>ankle</i> menjadi salah satu regio penting yang jika dilatih akan memberikan peningkatan kemampuan motorik dan kemandirian penderita <i>CP</i> .

		Tujuan penelitian ini untuk menentukan potensi bantuan plantar fleksi adaptif dari <i>ankle exoskeleton</i> untuk meningkatkan kecepatan berjalan di atas tanah.				dapat berpotensi meningkatkan mobilitas penderita <i>cerebral palsy</i> .	<i>exoskeleton</i> terbukti efektif sebagai latihan untuk meningkatkan mobilitas dan kemampuan motorik individu dengan gangguan neurologi dan muskuloskeletal.	
19	Effectiveness of robotic exoskeletons for improving gait in children with cerebral palsy: A systematic review.	<i>Exoskeleton</i> dikembangkan untuk membantu penggerak dan mengatasi kelainan gaya berjalan pada anak dengan <i>CP</i> . Alat bantu <i>exoskeleton</i> dapat dipakai memberikan bantuan	13 artikel terkait <i>robotic exoskeleton effect</i> untuk penderita <i>cerebral palsy</i> .	1. <i>Robotic exoskeleton</i> 2. <i>Gait</i> 3. <i>Cerebral palsy</i>	<i>PRISMA guideline</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa <i>exoskeleton-assisted</i> meningkatkan gaya berjalan dengan mengoptimalkan torsi <i>exoskeleton</i> untuk	Kesimpulan penelitian ini yaitu <i>robotic exoskeleton</i> berpotensi meningkatkan mobilitas anak dengan <i>CP</i> sehingga dapat meningkatkan partisipasi sosial dan	Penelitian ini mengungkap manfaat <i>robotic exoskeleton</i> dalam meningkatkan mobilitas dan kualitas hidup penderita <i>CP</i> . Namun, penelitian lanjutan tetap

	(Hunt dkk., 2022)	bertenaga pada ekstremitas bawah serta dukungan stabilitas saat berjalan.				penderita <i>cerebral palsy</i> . Perbaikan gaya berjalan, penurunan beban berjalan, peningkatan kecepatan berjalan, dan ekstensi <i>knee</i> dan <i>hip</i> saat berdiri.	meningkatkan kualitas hidup. Selain itu, penggunaan <i>exoskeleton ankle</i> dapat meningkatkan fungsi <i>ankle</i> .	diperlukan dan melibatkan kelompok terkontrol yang lebih besar.
20	Feasibility and safety of Robot Suit HAL treatment for adolescents and adults with cerebral palsy. (Ueno dkk., 2019)	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah <i>hybrid assistive limb</i> aman dan layak untuk gangguan gaya berjalan pada penderita <i>CP</i> remaja dan dewasa.	8 penderita <i>a spastic cerebral palsy</i> berusia 15 – 26 tahun dengan <i>gross motor function classification</i>	1. <i>Feasibility</i> dan <i>safety hybrid assistive limb</i> 2. <i>Cerebral palsy</i>	1. <i>Gait speed</i> 2. <i>Step length</i> 3. <i>Cadence</i> 4. <i>Gross motor function classification system</i>	Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada <i>gait speed, step length, dan cadence</i> . Namun, tidak ada perubahan <i>gross motor</i>	Kesimpulan penelitian ini yaitu <i>hybrid assistive limb</i> menjadi <i>robotic-assistive gait training</i> yang aman dan layak untuk meningkatkan kemampuan berjalan pada penderita <i>CP</i>	Penelitian ini masih belum bisa digunakan oleh penderita <i>CP</i> pediatri karena ukuran yang tidak kecil dan belum cukupnya penelitian terkait <i>robotic-assistive gait</i>

			<i>system</i> pada level 3 – 4.			<i>function classification system</i> sebelum dan setelah penggunaan <i>hybrid assistive limb.</i>	remaja dan dewasa.	<i>training</i> pada pediatri.
--	--	--	------------------------------------------	--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	-----------------------------------

1.6 Kerangka Teori



Gambar 1. Kerangka Teori