

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Pekerjaan mengangkat barang merupakan salah satu pekerjaan yang banyak orang-orang lakukan. Pekerjaan ini biasanya memerlukan kekuatan otot terutama otot punggung dalam melakukan pekerjaannya. Namun pekerjaan ini memiliki risiko cedera punggung jika dilakukan secara tidak benar dan kurang tepat. Menurut survei, sebanyak 25,7% mengalami pekerja mengalami cedera punggung saat melakukan pekerjaan mengangkat barang[1]. Berdasarkan data di atas orang masih terkena cedera otot punggung saat melakukan pekerjaan yang artinya mereka tidak sadar akan cedera punggung yang terjadi saat mereka bekerja. Oleh karena itu penting untuk mengetahui apa saja tanda-tanda cedera otot punggung akan terjadi agar orang dapat menghindari terjadinya cedera otot punggung tersebut.

Cedera otot punggung ini rentan terjadi kepada pekerja yang sering mengandalkan kekuatan otot punggung dalam bekerja seperti melakukan pekerjaan mengangkat barang[2]. Pekerjaan seperti ini sangat berisiko untuk mengalami cedera otot punggung karena ketika melakukan kegiatan tersebut otot punggung bekerja terlalu keras sehingga mengakibatkan kerusakan sel otot. Ketika mengangkat barang otot punggung akan menerima gaya yang besar sehingga punggung akan rentan untuk terkena cedera.

Menghindari risiko cedera otot punggung sangat penting karena cedera ini tidak hanya menimbulkan rasa nyeri, tetapi juga berpotensi memerlukan waktu pemulihan yang lama dan memengaruhi produktivitas. Data menunjukkan bahwa meskipun sekitar 95% penderita nyeri punggung bawah (low back pain) pulih dalam beberapa bulan, sekitar 5% berkembang menjadi kondisi kronis yang melemahkan[3]. Di Indonesia banyak pekerja yang mengandalkan kekuatan otot punggung mengalami cedera otot punggung dari pekerjaan mereka. Dalam suatu artikel menunjukkan bahwa tenaga medis yang bertugas merawat pasien yang memiliki kegiatan mengangkat, menarik, dan membungkuk mengalami cedera otot punggung dengan prevalensi 63,7% pada tahun 2017[4].

. Kondisi kronis ini dapat berlangsung lebih dari tiga bulan dan memengaruhi aktivitas sehari-hari, pekerjaan, serta kualitas hidup. Selain itu, tingkat kekambuhan setelah sembuh juga cukup tinggi, yaitu antara 20–44% dalam setahun. Cedera punggung yang berlanjut menjadi kronis berkontribusi pada hilangnya produktivitas kerja secara global, mengingat low back pain merupakan penyebab utama disabilitas di seluruh dunia, dengan 619 juta kasus pada tahun 2020 dan diproyeksikan meningkat menjadi 843 juta kasus pada tahun 2050[5]. Dengan risiko berkembangnya cedera menjadi kronis, lama waktu pemulihan, serta dampak besar pada produktivitas, pencegahan cedera otot punggung menjadi langkah yang sangat krusial.

Melakukan kegiatan mengangkat barang yang aman tanpa harus terkena cedera otot punggung adalah hal yang penting mengingat jika sampai terjadi cedera otot punggung, maka akan sulit untuk melakukan kegiatan mengangkat barang atau bahkan sulit untuk melakukan aktivitas lainnya. Cedera otot dapat mempengaruhi kekuatan otot seseorang sehingga orang tersebut tidak dapat melakukan pekerjaannya secara optimal. Selain dari pada itu cedera otot juga dapat menimbulkan rasa sakit di mana akan mengganggu keadaan seseorang. Cedera otot juga bisa memberikan dampak kesehatan di mana dapat menimbulkan jika sudah terlalu serius maka harus mengeluarkan biaya tambahan untuk pengobatannya.

Berdasarkan data yang telah diuraikan sebelumnya, upaya pencegahan cedera otot punggung memiliki urgensi yang tinggi, mengingat potensi dampak negatif yang dapat ditimbulkan terhadap aktivitas maupun kualitas hidup individu. Untuk itu, diperlukan pengembangan suatu perangkat yang tidak hanya mampu memantau kondisi otot punggung secara berkelanjutan, tetapi juga memberikan peringatan dini kepada pengguna sebagai bentuk antisipasi risiko cedera.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

1.1.1.1 Otot Punggung Bawah (*latissimus dorsi*)

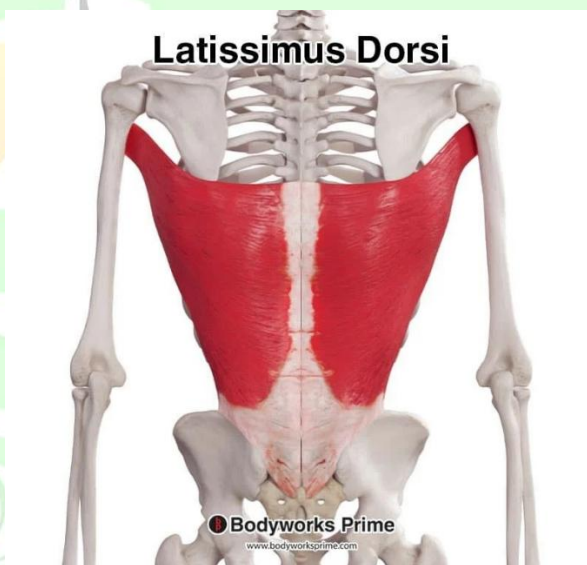
Otot *latissimus dorsi* adalah otot rangka berbentuk lebar dan pipih yang menutupi sebagian besar punggung bagian bawah dan samping, berperan penting dalam gerakan lengan dan stabilitas tubuh[6]. Sebagai salah satu otot superfisial punggung, *latissimus dorsi* bekerja bersama otot punggung lainnya seperti *trapezius*, *teres major*, dan *rhomboid* untuk menghasilkan gerakan seperti ekstensi, adduksi, dan rotasi internal bahu[7]. Otot ini memiliki titik asal (*origin*) pada *spinous process* vertebra torakal T7–T12, vertebra lumbal L1–L5 melalui *thoracolumbar fascia*, *iliac crest*, rusuk ke-9 hingga ke-12, dan sudut inferior skapula, kemudian serabutnya menyatu menuju titik insersi (*insertion*) pada dasar *intertubercular sulcus* humerus[8]. Secara histologis, *latissimus dorsi* tersusun atas serabut otot rangka bertipe *striated skeletal muscle*, yang berada di bawah kendali sistem saraf somatik[9]. Kombinasi bentuk, ukuran, dan susunan serabut otot ini membuatnya tidak hanya berperan dalam menggerakkan bahu, tetapi juga membantu pernapasan dan menopang postur tubuh.

Otot skeletal atau otot lurik adalah salah satu dari tiga jenis otot vertebrata (bersama otot jantung dan otot polos), yang berfungsi secara *voluntary* (sadar) dan biasanya melekat pada tulang melalui tendon[10]. Secara histologis, otot ini tersusun dari serat-serat otot silindris dan panjang (*muscle fibers*), yang bersifat multinuklear dengan inti sel berada di tepi (periferi), serta memiliki penampilan bergaris (*striated*) akibat organisasi filamen aktin dan miosin dalam unit fungsional bernama *sarkomere*[11]. Secara makroskopik, tiap otot dibungkus tiga lapisan jaringan ikat endomysium (mengelilingi tiap serat otot), perimysium (mengelompokkan serat menjadi fasciculi), dan epimysium (melapisi keseluruhan otot) yang juga menyokong suplai saraf dan pembuluh darah ke tiap bagian otot[12].

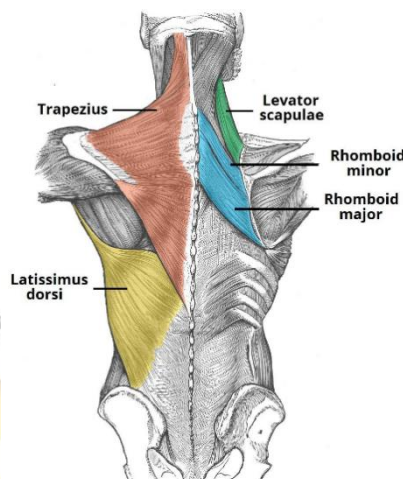
Secara fungsional, otot skeletal memungkinkan berbagai gerakan tubuh seperti menggerakkan tulang, pernapasan, menjaga postur, serta menghasilkan panas tubuh. Otot *latissimus dorsi* merupakan contoh khas otot lurik karena: (1) ia adalah otot rangka, melekat pada tulang (vertebra, pelvis, dan humerus), (2) *striated*

dengan struktur sarkomer, dan (3) dibungkus oleh jaringan ikat yang serupa serta menerima suplai saraf dan vaskular khas otot skeletal. *Latissimus dorsi* melakukan gerakan seperti adduksi, ekstensi, dan rotasi internal lengan, serta membantu dalam pernapasan, yang merupakan fungsi umum dari otot skeletal sebagai penggerak aktif dan pelindung postur[13].

Otot punggung merupakan bagian otot yang paling banyak bekerja saat melakukan kegiatan mengangkat barang. Terutama bagian otot punggung bagian bawah di mana otot ini juga merupakan pusat masa tubuh dalam menerima beban sehingga membuat otot ini akan menerima banyak beban saat melakukan kegiatan mengangkat barang. otot yang paling memungkinkan untuk mengalami cedera adalah *latissimus dorsi*. otot ini merupakan bagian otot punggung bawah dan yang paling besar sehingga merupakan otot yang paling banyak melakukan kerja saat aktivitas[14]. Berikut adalah bagaimana gambaran otot-otot yang berada di bagian belakang punggung:



Gambar 1.1 Bentuk Otot latissimus dorsi[15]



Gambar 1.2 Letak latissimus dorsi pada bagian otot punggung[16]

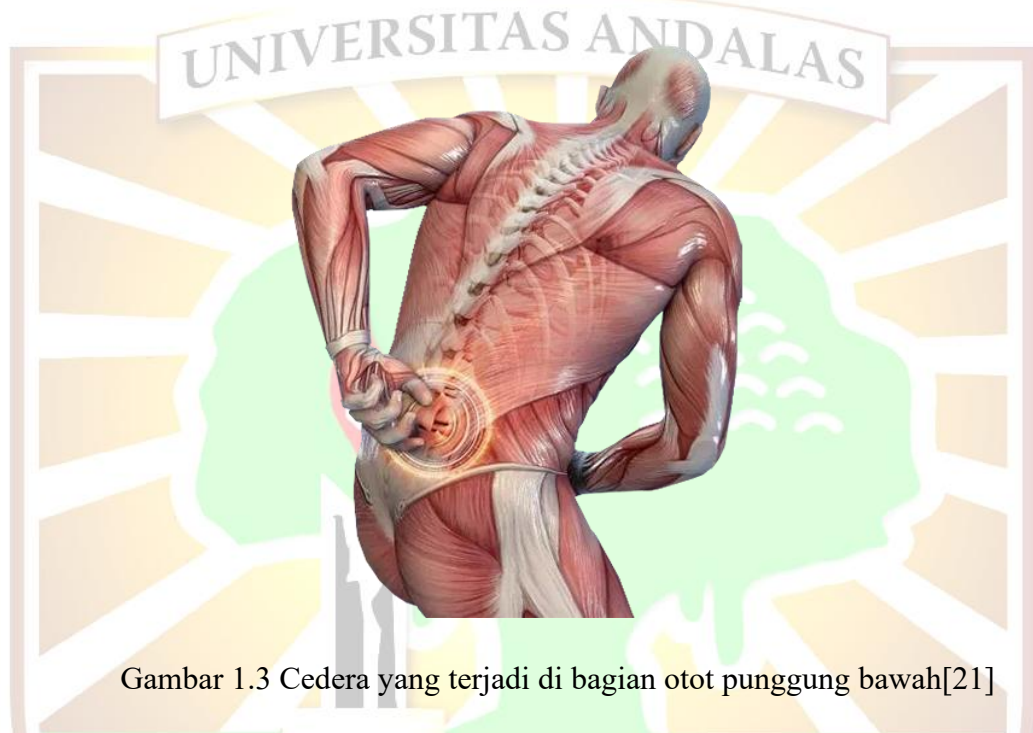
Otot punggung memiliki karakteristik di mana otot ini merupakan kumpulan otot-otot yang berada di punggung yang memberikan fungsi untuk menopang tubuh dan pusat dalam hal keseimbangan dan gerakan anggota badan. Otot *latissimus dorsi* merupakan otot superfisial eksentrik yang berada pada punggung. Otot ini merupakan bagian dari otot skeletal di mana otot ini menempel pada tulang agar bisa melakukan gerakan. Otot melakukan gerakan kontraksi dan relaksi agar otot dapat bekerja[17]. Namun saat otot melakukan kontraksi yang terlalu kuat maka akan mengakibatkan sel-sel pada otot akan rusak sehingga ini akan mengakibatkan cedera

1.1.1.2 Cedera Otot (*Strain*)

Cedera otot merupakan kerusakan pada jaringan otot atau tendon yang menghubungkan otot ke tulang, umumnya disebabkan oleh beban fisik yang melebihi kapasitas jaringan (*musculoskeletal injury*). Salah satu jenis cedera otot yang paling umum adalah strain yaitu robekan kecil atau parsial pada serat otot akibat peregangan atau tekanan berlebih (*muscle strain*)[18]. Penyebab strain meliputi overuse, penggunaan teknik yang salah, peningkatan intensitas atau durasi aktivitas secara tiba-tiba, dan kondisi otot yang kurang kuat atau fleksibel.

Dampak kesehatannya dapat berupa rasa nyeri lokal, kelemahan otot, pembengkakan, gangguan fungsi dan mobilitas, bahkan dalam kasus berat, robekan total yang memerlukan intervensi medis serius. Pada otot punggung seperti *latissimus dorsi*, strain dapat muncul saat mengangkat benda berat dalam jangka

waktu lama atau dengan teknik yang kurang tepat karena otot ini berperan aktif dalam ekstensi, adduksi, dan rotasi internal lengan serta stabilisasi punggung bawah[19]. Ketika mengalami strain, individu mungkin merasakan "pop" atau nyeri tajam di daerah punggung atau lengan saat melakukan aktivitas tersebut, disertai keterbatasan mobilitas dan fungsi otot yang terlibat[20]



Gambar 1.3 Cedera yang terjadi di bagian otot punggung bawah[21]

Cedera otot strain adalah kondisi ketika serat otot atau tendon mengalami peregangan berlebihan hingga terjadi robekan parsial atau total pada jaringan tersebut. Proses terjadinya strain dimulai ketika otot menerima beban atau tarikan yang melebihi kapasitas elastisnya, misalnya saat mengangkat beban berat secara mendadak atau berulang. Pada tahap awal, serabut otot (myofibril) mengalami peregangan mikro di luar batas fisiologis, yang mengakibatkan mikro-robekan pada jaringan otot dan jaringan ikat penghubung (endomysium, perimysium). Robekan ini memicu respon inflamasi di mana pembuluh darah kecil di sekitar area cedera pecah, menyebabkan perdarahan mikro (mikrohematoma) dan pelepasan mediator kimia seperti prostaglandin dan histamin.

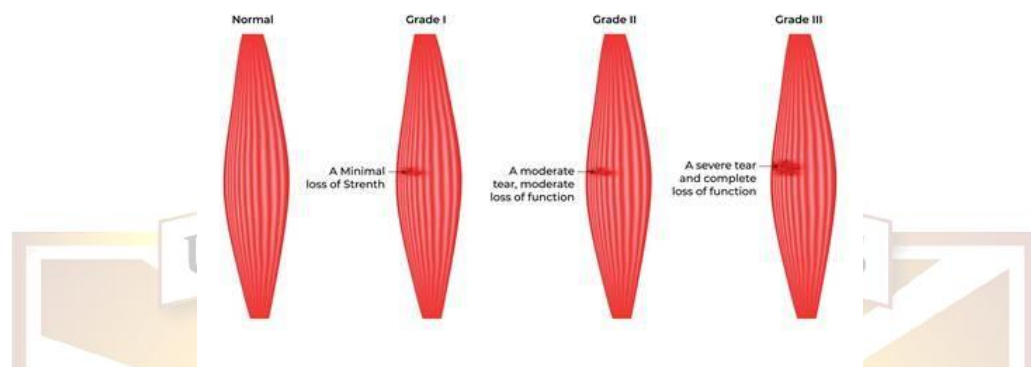
Tahap berikutnya adalah fase inflamasi akut (24–72 jam) yang ditandai dengan pembengkakan, kemerahan, peningkatan suhu lokal, dan rasa nyeri akibat stimulasi reseptor nyeri oleh zat kimia inflamasi. Selanjutnya, tubuh memasuki fase

regenerasi, di mana satellite cells di sekitar serat otot yang rusak akan berproliferasi dan berdiferensiasi menjadi serat otot baru, sementara jaringan ikat memperbaiki struktur pendukung. Pada kasus yang melibatkan otot besar seperti *latissimus dorsi*, strain dapat mengganggu fungsi tarikan lengan dan kestabilan punggung bawah, sehingga aktivitas seperti mengangkat beban menjadi sulit atau nyeri hingga proses penyembuhan selesai.

Cedera otot strain dibagi menjadi tiga tingkatan berdasarkan tingkat kerusakan jaringan. Strain tingkat I melibatkan peregangan atau robekan mikro pada sejumlah kecil serat otot tanpa kehilangan fungsi yang signifikan; gejalanya meliputi nyeri ringan, kekakuan, dan sedikit pembengkakan, namun penderita masih dapat beraktivitas dengan keterbatasan ringan. Strain tingkat II terjadi ketika lebih banyak serat otot robek secara parsial, disertai nyeri sedang hingga berat, pembengkakan yang nyata, memar, dan keterbatasan gerak yang signifikan. Strain tingkat III adalah robekan total pada otot atau tendon, biasanya menimbulkan nyeri hebat, pembengkakan besar, memar luas, dan hilangnya fungsi otot secara total, sering memerlukan tindakan pembedahan.

Komplikasi yang dapat timbul meliputi jaringan parut (fibrosis) yang mengurangi elastisitas otot, kelemahan kronis, penurunan rentang gerak, myositis ossificans (pembentukan tulang di dalam otot), dan nyeri kronis. Pada kasus serius, kerusakan otot yang luas dapat memengaruhi aliran darah atau saraf di sekitarnya, menyebabkan sindrom kompartemen yang berpotensi mengancam keselamatan jaringan. Dampak terhadap pekerjaan sangat bergantung pada tingkat keparahan; pekerja yang membutuhkan kekuatan fisik tinggi seperti buruh angkut, teknisi lapangan, atau atlet dapat mengalami penurunan produktivitas, absensi kerja yang lama, bahkan kehilangan kemampuan untuk melakukan tugas tertentu jika pemulihan tidak optimal.

MUSCLE STRAIN GRADING



Gambar 1.4 Ilustrasi pada jaringan otot yang mengalami cedera[22]

1.1.1.3 Kondisi yang Mempengaruhi Cedera Pada Otot Punggung

Ada beberapa kondisi yang dapat mengakibatkan terjadinya cedera pada otot *latissimus dorsi* terutama saat melakukan kegiatan mengangkat barang. Di antaranya seperti durasi atau lama seseorang dalam melakukan kegiatan mengangkat barang. Semakin lama seseorang melakukan kegiatan mengangkat barang maka otot punggung akan bekerja semakin lama. Maka dari itu penting agar dapat memperhatikan durasi pekerjaan agar terhindar dari cedera otot punggung. rata-rata pekerja melakukan kegiatan bekerja antara 7 jam di mana ini akan sangat berisiko terkena cedera otot punggung[23]. Selama durasi pekerja biasanya beberapa kali melakukan kegiatan mengangkat barang. Seperti pada pekerja porter di mana biasanya dapat mengangkat sekitar 6-7 kali sehari[24]. Durasi ini penting diperhitungkan karena semakin lama seseorang melakukan kegiatan mengangkat barang maka otot akan semakin kelelahan sehingga meningkatkan risiko terjadinya cedera atau kram otot. Sebuah studi menunjukkan dimana otot dapat bekerja secara optimal selama 3-18 menit secara terus menerus berkontraksi sebelum kemudian mengalami kelelahan yang membuat penurunan dalam hal performa kekuatan otot. Meskipun begitu otot dapat terus dipertahankan kontraksinya selama 60 menit.

Selain durasi berat juga mempengaruhi terjadinya cedera otot punggung bawah. Ketika mengangkat beban yang terlalu berat maka otot juga akan melakukan kontraksi yang semakin kuat juga di mana jika kontraksi ini terlalu kuat maka akan membuat robekan jaringan otot di mana ini dapat mengakibatkan terjadinya cedera otot. Menurut NIOSH (National Institute for Occupational Safety

and Health) berat beban yang baik yang dapat diangkat yaitu berada di bawah kisaran 23 kg[25]. Ini merupakan batas berat yang aman di mana seseorang dapat mengangkat barang untuk meminimalisir terjadinya cedera pada otot.

Masalah tersebut memiliki pendekatan solusi yang telah ada sebelumnya, namun memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Berikut dijabarkan beberapa dari solusi tersebut :

Dalam dunia medis, cedera otot atau kram ini telah memiliki solusi dalam hal penyembuhan dan penanganan cedera otot. Baik dalam hal pemberian obat-obatan, suplemen, maupun tindakan medis lainnya. Seperti pada salah satu jurnal menggunakan kinin sulfat sebagai krim untuk meredakan sakit yang ditimbulkan oleh kram otot[26]. Penggunaan obat-obatan konsumsi juga dapat meredakan nyeri pada otot ketika mengalami cedera otot. Seperti sebuah obat bernama “Paramex” yang merupakan obat pereda nyeri otot yang telah beredar luas. Obat tersebut dapat dengan mudah ditemukan seperti di apotek atau warung[27]. Namun obat-obatan tersebut hanya bersifat untuk meredakan nyeri atau rasa sakit yang ditimbulkan oleh kram otot. Otot tersebut telah mengalami kerusakan sehingga penanganan medis di atas merupakan tindakan pasca terjadinya cedera atau kram otot. Maka dari itu perlu diberikan solusi di mana cedera otot dapat dideteksi secara dini sehingga cedera atau kram otot dapat diantisipasi sebelum mengalaminya karena kram otot atau cedera otot ini memerlukan waktu yang lama dalam proses penyembuhan.

Terdapat penelitian mengenai pendeteksi tanda kram atau cedera pada otot di mana ini adalah sebuah penelitian yang berjudul “*Wearable Device for Early Detection of Muscle Cramp with Heating Pad*”[28]. Pada penelitian ini cedera otot atau kram di deteksi menggunakan sensor panas dan sensor detak jantung untuk mengukur dan mendeteksi tanda cedera otot. Penelitian ini bertujuan agar kram otot dapat dideteksi secara dini agar dapat diberikan pertolongan secepatnya kepada pengguna saat melakukan kegiatan seperti latihan dan juga kegiatan lainnya.

1.1.2 Analisis Masalah

Aspek Sustainability

Pengguna dapat melakukan pekerjaan mengangkat barang mereka tanpa harus khawatir mengenai kram punggung, pengguna jadi tidak perlu untuk membeli persediaan obat-obatan karena kram punggung dapat terdeteksi sebelum terjadi.

Aspek Ekonomi

Dengan mendeteksi kram otot secara dini membuat pengguna yang bekerja tidak perlu lagi khawatir untuk istirahat atau berhenti dari pekerjaan mereka akibat dari kram otot punggung sehingga membuat mereka tetap terus bekerja untuk memenuhi kebutuhan ekonomi mereka

Aspek Kesehatan

alat ini dapat mengantisipasi cedera otot punggung. Alat ini akan memberitahu jika pengguna telah melewati batas aman dalam kegiatan mengangkat barang yang dapat membahayakan otot punggung

1.1.3 Kebutuhan yang harus dipenuhi

Beberapa kebutuhan yang harus dipenuhi oleh sistem adalah :

- A. Alat mampu untuk mendeteksi aktivitas otot punggung bawah
Alat akan memonitoring kondisi otot punggung bawah ketika melakukan pekerjaan mengangkat barang. Pendeteksian ini guna agar alat dapat mengetahui seberapa tingkat aktivitas otot tersebut guna dalam memperingati terjadinya cedera otot.
- B. Alat mampu membunyikan suara peringatan
Kebutuhan ini sebagai sistem notifikasi untuk memperingati pengguna akan cedera otot punggung bawah. Notifikasi ini berupa suara yang mampu untuk didengar pengguna dengan jelas oleh pengguna
- C. Alat mampu bekerja secara terus-menerus selama durasi jam bekerja
Kebutuhan ini berguna agar alat dapat secara konsisten untuk terus berfungsi selama pengguna melakukan pekerjaan mengangkat barang. Alat juga harus dapat terus bekerja selama otot punggung bawah ini dalam melakukan kegiatan mengangkat barang

D. Alat mampu menyimpan data dari perhitungan sistem

Dengan menyimpan hasil pengguna dapat melihat hasil dari pengukuran alat di mana ini merupakan bagaimana kondisi otot selama pengguna melakukan kegiatan mengangkat barang

1.1.4 Tujuan

Dari semua kebutuhan yang diperlukan, alat ini dapat dibuat agar ketika seseorang melakukan kegiatan mengangkat barang maka orang tersebut dapat terhindar dari risiko cedera otot punggung. alat ini akan mengantisipasi terjadinya cedera otot punggung pada saat melakukan kegiatan angkat barang dengan memberitahu pengguna jika barang yang diangkat terlalu berat dan membahayakan otot punggung.

Alat ini dirancang dengan tujuan untuk mengantisipasi terjadinya cedera otot punggung bawah melalui pemantauan aktivitas dan kondisi otot secara langsung selama melakukan pekerjaan fisik. Pemantauan ini bertujuan mendeteksi tanda-tanda awal kelelahan atau penggunaan otot yang berlebihan sebelum berkembang menjadi cedera serius. Jika sistem mendeteksi adanya potensi risiko cedera otot, alat akan memberikan peringatan kepada pengguna. Dengan adanya peringatan ini, pengguna dapat segera menyesuaikan gerakan, mengurangi beban, atau beristirahat sehingga risiko kerusakan jaringan otot punggung bawah dapat diminimalkan dan kesehatan otot tetap terjaga.

1.2 Solusi

Pada bagian ini akan dijelaskan apa saja yang bisa dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan yang telah disampaikan sebelumnya. Pada bagian ini akan dijabarkan beberapa kemungkinan dari solusi yang dapat diberikan dalam hal menyelesaikan masalah cedera otot punggung. Di bagian ini juga mengidentifikasi beberapa kebutuhan yang harus dipenuhi guna mampu menyelesaikan permasalahan yang telah diberikan

1.2.1 Karakteristik Produk

Pada bagian ini akan dijabarkan apa saja fitur dasar dan tambahan yang akan diperlukan pada alat. Fitur dasar adalah fitur utama di mana sistem harus dapat berfungsi dengan baik agar dapat memecahkan masalah yang diberikan. Fitur dasar harus dimiliki oleh sistem dan jika tidak terpenuhi maka sistem tidak akan dapat bekerja. Fitur tambahan merupakan kebutuhan tambahan sistem yang mana ini boleh tidak dimiliki oleh sistem. Namun fitur tambahan ini akan menambah nilai pada sistem terkait performa, biaya, kompleksitas, dan aspek lainnya yang dapat meningkatkan nilai pada sistem

Fitur Dasar

- mendeteksi aktivitas otot

melakukan pendeteksi untuk memastikan keadaan otot. Fitur ini berguna untuk memberikan masukan atau input pada sistem untuk kondisi otot yang sedang di pantau

- pengolahan data

fitur ini berguna untuk mengolah input untuk dilakukan proses pada sistem. Pengolahan data ini berguna untuk memastikan sistem dapat bekerja dalam hal memberi keputusan untuk memberikan peringatan tanda cedera atau kram otot

- sistem notifikasi

fitur ini berguna untuk memberikan cara untuk bagaimana memberitahu pengguna akan bahaya kram otot ketika sedang bekerja. Fitur ini memberikan pengguna berupa tanda peringatan yang dapat diketahui dan juga mudah untuk di dengar sehingga pengguna bisa segera menghentikan pekerjaannya

- metode komputasi

menggunakan metode dan algoritma yang tepat pada sistem untuk memberikan hasil dan kurasi perhitungan yang tepat agar sistem dapat bekerja dengan semestinya dan memberikan hasil yang diharapkan

Fitur Tambahan

- biaya tidak lebih dari 3.000.000

Termasuk biaya alat dan juga biaya pengembangan yang akan digunakan pada proyek ini

- selesai dalam 6 bulan
mempertimbangkan jadwal pengerjaan agar dapat selesai dengan tepat waktu
- *low power*
alat merupakan *wearable device* sehingga dengan *low power* alat dapat bekerja dengan lama dan juga tidak memakan banyak tempat untuk penggunaan daya seperti *power supply* yang besar
- nyaman dipakai
alat dibuat agar tidak mengganggu pengguna saat melakukan pekerjaannya
- tidak terlalu banyak komponen
alat harus memiliki komponen yang dapat diaplikasikan ke tubuh pengguna di mana komponen tersebut tidak boleh terlalu banyak agar tidak mengganggu pengguna

1.2.2 Usulan Solusi

Berikut diberikan tiga buah solusi yang dapat digunakan pada sistem untuk menangani masalah yang diangkat. Solusi ini akan mempunyai karakteristiknya sendiri dalam hal pengolahan data pada sistem dan juga komponen-komponen yang digunakan.

Solusi 1

menggunakan sensor EEG (*electroencephalogram*) . sensor EEG adalah sensor yang mengukur gelombang otak untuk mendeteksi bagaimana aktivitas otak seseorang[29]. Electroencephalography (EEG) adalah metode pencatatan aktivitas listrik otak menggunakan sensor atau elektroda yang ditempatkan di kulit kepala

untuk mendeteksi perubahan potensial listrik yang dihasilkan oleh neuron. Sensor EEG bekerja dengan menangkap sinyal bioelektrik yang timbul akibat aktivitas sinkron dari jutaan neuron kortikal, kemudian memperkuat dan mengubahnya menjadi data digital untuk dianalisis. Proses ini umumnya melibatkan penguatan sinyal, penyaringan (filtering) untuk menghilangkan noise, dan pengolahan sinyal untuk mengidentifikasi pola gelombang otak seperti alfa, beta, delta, dan teta.

EEG banyak digunakan dalam bidang medis untuk mendiagnosis gangguan saraf seperti epilepsi, gangguan tidur, dan cedera otak, serta dalam penelitian neurosains untuk memahami fungsi otak. Selain itu, EEG juga diaplikasikan dalam teknologi Brain-Computer Interface (BCI) untuk mengendalikan perangkat eksternal melalui aktivitas otak.

Alat akan dipasang pada bagian kepala untuk memantau bagaimana reaksi pengguna saat melakukan kegiatan angkat beban. Alat ini akan menangkap setiap aktivitas otak di mana juga akan memberitahu apakah berat ini bahaya atau tidak. Setiap alat akan terhubung ke mikrokontroler untuk memproses data dan akan membunyikan alarm jika berat benda yang diangkat membahayakan.

Solusi 2

menggunakan sensor EMG (*electromyography*) . sensor ini langsung mendeteksi aktivitas otot melalui sinyal listrik yang dihasilkan oleh otot selama beraktivitas[30]. *Electromyography* (EMG) adalah teknik untuk merekam dan menganalisis aktivitas listrik yang dihasilkan oleh otot rangka selama kontraksi maupun dalam keadaan istirahat, dengan menggunakan sensor atau elektroda yang ditempatkan di permukaan kulit atau langsung pada jaringan otot. Sensor EMG bekerja dengan mendeteksi potensial aksi yang dihasilkan oleh serabut otot saat menerima impuls dari saraf motorik. Sinyal ini kemudian diperkuat, difilter untuk mengurangi noise, dan diubah menjadi data digital untuk dianalisis.

EMG banyak digunakan dalam bidang medis untuk mendiagnosis gangguan neuromuskular, mengevaluasi fungsi otot pasca cedera, serta dalam rehabilitasi untuk memantau kemajuan terapi. Selain itu, EMG juga dimanfaatkan dalam penelitian biomekanika, ergonomi, dan teknologi wearable untuk memantau

aktivitas otot secara real-time. Dengan sensor ini dapat deteksi apakah otot mulai mengalami tanda-tanda cedera. Sensor EMG akan langsung di pasangkan ke bagian otot punggung di mana sensor ini dapat langsung untuk memantau bagaimana kondisi otot tersebut.

Solusi 3

menggunakan sensor Tensiomyography. Sensor Tensiomyography (TMG) adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur sifat mekanis otot, seperti kekakuan, kontraktibilitas, dan tingkat kelelahan, dengan cara mendeteksi perubahan ketebalan otot saat diberikan stimulasi listrik ringan. Prinsip kerjanya melibatkan penempatan sensor non-invasif di permukaan kulit tepat di atas otot target, kemudian otot distimulasi menggunakan impuls listrik singkat. Sensor akan merekam pergerakan dan perubahan bentuk otot, biasanya dalam orde milimeter, untuk dianalisis secara kuantitatif. Data yang diperoleh dapat memberikan informasi tentang performa otot, tingkat pemulihan setelah cedera, atau adanya disfungsi neuromuskular.

Tensiomyography banyak digunakan dalam bidang kedokteran olahraga, fisioterapi, dan penelitian biomekanik karena sifatnya yang cepat, non-invasif, dan mampu memberikan profil kontraksi otot secara objektif.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana masing-masing solusi akan dibandingkan untuk mengetahui solusi mana yang terbaik untuk dipilih dan dibuat pada proyek ini. Analisis akan menggunakan tabel *house of quality* (HOQ) di mana pada tabel ini masing-masing solusi memiliki poin tersendiri dari setiap kebutuhan sistem yang dijabarkan sebelumnya

Body Ranking System												
●	Kuat	5										
○	sedang	3										
△	lemah	1										
			IMPORTANCE	mendeteksi aktivitas otot	mendeteksi berat benda yang diangkat	mendeteksi postur tubuh	pengolahan data	sistem notifikasi	metode komputasi	solusi 1	solusi 2	solusi 3
biaya tidak lebih dari 2.000.000			5	△	△	○	●			△	○	●
selesai dalam 6 bulan			5				○	○	△	●	●	●
low power			3	○	○	●	○			○	●	△
nyaman dipakai			3	○	○	○				△	●	△
tidak terlalu banyak komponen			1	△	○	○				○	○	△
importance rating				24	26	42	49	15	5			
percent of important				15%	16%	26%	30%	9%	3%			
solusi 1				○	●	○	△	○	○			
solusi 2				●	●	○	●	○	○			
solusi 3				△	●	○	○	○	●			

Gambar 1.5 Tabel HOQ

Berdasarkan dari berbagai solusi yang diberikan dalam analisis ini akan di perlihatkan solusi mana yang terbaik yang dapat diterapkan.

Solusi pertama menggunakan sensor EEG. Karena otak juga bisa juga memiliki beberapa sinyal gangguan seperti rasa sakit mungkin membuatnya kurang akurat. Untuk EMG karena langsung ditempatkan pada otot maka akan membuat apa pun yang terjadi pada otot akan langsung terdeteksi. Terakhir untuk sensor tegangan akan cukup sulit karena ukurannya lumayan besar dan bentuk tubuh orang yang berbeda-beda akan mempengaruhi keakuratannya.

Dari segi kenyamanan solusi satu dapat memberikan cukup kenyamanan namun masih kurang karena sensor yang diletakan di kepala membuat orang-orang merasa kurang nyaman memakainya. Untuk solusi kedua dapat dibuat dengan nyaman karena langsung ke tempat otot punggung berada dan tidak terlalu banyak menggunakan alat. Untuk solusi ketiga kurang memungkinkan kenyamanannya karena sensor ini cukup besar dan mungkin akan mengganggu gerakan pengguna.

Dalam hal pengolahan data masing-masing solusi akan memberikan hasil yang berbeda karena masukan untuk menerima data sensornya juga berbeda. Untuk

solusi pertama dalam hal pengolahan data cukup sulit mengingat otak banyak melakukan aktivitas sehingga butuh perhitungan dan keakuratan yang cukup tinggi untuk menentukan yang mana sinyal yang berasal dari otot. Untuk solusi kedua dapat digunakan dengan mudah dalam hal pengolahan data karena langsung mengukur keadaan otot. Untuk solusi ketiga juga cukup mudah namun memerlukan perhitungan tambahan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Berikut adalah hasil dari setiap perhitungan yang ada pada tabel HOQ

Fitur dasar

$$\text{Solusi 1 : } 3 \times 15\% + 5 \times 16\% + 3 \times 26\% + 1 \times 30\% + 3 \times 9\% + 3 \times 3\% = 2,69$$

$$\text{Solusi 2 : } 5 \times 15\% + 5 \times 16\% + 3 \times 26\% + 5 \times 30\% + 3 \times 9\% + 3 \times 3\% = 4,19$$

$$\text{Solusi 3 : } 1 \times 15\% + 5 \times 16\% + 3 \times 26\% + 3 \times 30\% + 3 \times 9\% + 3 \times 3\% = 2,99$$

Kemudian dari segi fitur tambahan masing-masing solusi dapat memberikan penilaian yang berbeda-beda dengan fitur ini di mana ini juga akan menjadi nilai tambah untuk masing-masing solusi.

Dari segi biaya solusi 1 memiliki biaya yang cukup besar karena sensor EEG terbilang cukup mahal dan alatnya juga terbilang kompleks. Untuk solusi yang kedua memiliki biaya yang masih cukup murah dan alatnya tidak sekompleks solusi pertama. Untuk solusi 3 memiliki biaya yang paling murah karena merupakan sensor yang cukup sederhana dan memiliki biaya yang murah.

Dalam hal kenyamanan pengguna saat alat di pasang ke tubuh, solusi 1 dan 3 terbilang kurang nyaman. Solusi 1 menggunakan alat yang cukup besar dan peletakan alat di tempat yang membuat pengguna kurang nyaman yaitu kepala. Sedangkan solusi 3 menggunakan cukup banyak alat yang akan mempengaruhi gerakan pengguna. Solusi 2 memberikan kenyamanan yang cukup karena sensor yang langsung ditempatkan pada otot tanpa perlu komponen tambahan yang membebani.

Ini juga akan secara tidak langsung akan berdampak pada konsumsi daya di mana semakin sedikit alat yang digunakan maka akan semakin sedikit daya yang akan di konsumsi

Berikut adalah hasil perhitungan untuk fitur dasar :

Biaya tidak lebih dari 2.000.000 : $5 \times (1 + 1 + 3 + 5) = 50/161 = 31\%$

Selesai dalam 6 bulan : $5 \times (3 + 3 + 1) = 35/161 = 22\%$

Low power : $3 \times (3 + 3 + 5 + 3) = 42/161 = 26\%$

Nyaman dipakai : $3 \times (3 + 3 + 3) = 27/161 = 17\%$

Tidak terlalu banyak komponen : $1 \times (1 + 3 + 3) = 7/161 = 4\%$

Sehingga untuk dasar setiap solusi memiliki nilai :

Solusi 1 : $1 \times 31\% + 5 \times 22\% + 3 \times 26\% + 1 \times 17\% + 3 \times 4\% = 2,48$

Solusi 2 : $3 \times 31\% + 5 \times 22\% + 5 \times 26\% + 5 \times 17\% + 3 \times 4\% = 4,3$

Solusi 3 : $5 \times 31\% + 5 \times 22\% + 1 \times 26\% + 1 \times 17\% + 1 \times 4\% = 3,12$

Sehingga untuk hasil akhir dari penjumlahan antara fitur dasar dengan fitur tambahan menjadi :

Solusi 1 : $2,69 + 2,48 = 5,17$

Solusi 2 : $4,19 + 4,3 = 8,49$

Solusi 3 : $2,99 + 3,12 = 6,02$

1.2.4 Solusi yang Dipilih

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode *house of quality*, didapatkan solusi 2 memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada dua solusi lainnya. Ini menunjukkan bahwa solusi No. 2 adalah solusi terbaik antara ketiga solusi yang telah ditawarkan. Pada solusi ini alat akan menggunakan *electromyograph* (EMG) yang akan dipasang pada otot punggung. Kemudian menggunakan kalibrasi dari berat benda yang diangkat pada tangan dan sensor untuk menentukan posisi tubuh, maka alat ini dapat membantu dalam kegiatan mengangkat barang lebih aman dan tidak mengakibatkan cedera otot