

KORELASI DAN REGRESI PERUBAHAN KEKUATAN TARIK OTOT TUNGGKAI SEBAGAI AKIBAT PERUBAHAN KEMIRINGAN TUBUH

I Wayan Sukania¹, Marthinus Chandra², Florencia Charlene Teng³

¹Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara Jakarta

Email: wayans@ft.untar.ac.id

^{2,3}Program Studi Teknik Industri, Universitas Tarumanagara Jakarta

Email: ²marthinus.545230003@stu.untar.ac.id, ³florencia.545230002@stu.untar.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis korelasi dan regresi antara perubahan sudut penarikan dengan kekuatan tarik pada uji kekuatan tarik. Objek utama dalam penelitian ini adalah mahasiswa teknik industri Universitas Tarumanagara angkatan 2024 yang berjumlah 50 praktikan dengan ukuran tubuh yang bervariasi. Penelitian ini menggunakan satu alat yang bernama *Pull Dynamometer* yang digunakan dengan cara menarik alat tersebut sekuat tenaga. Setiap praktikan akan melakukan pengujian kekuatan tarik dengan sudut yang berbeda-beda, yaitu 0°, 45°, 90°, dan 135°. Data yang telah diperoleh akan dilakukan pengujian normalitas, kecukupan, dan keseragaman data. Hasilnya, seluruh data bersifat normal, cukup, dan seragam yang dapat dilakukan analisis lebih lanjut, yaitu analisis korelasi dan regresi untuk menentukan hubungan antara sudut tarik dengan hasil kekuatan tarik. Didapat hasil bahwa data-data tersebut berkorelasi negatif 60,9% dengan persamaan regresi yang didapat yaitu $Y = 68,368 - 0,228X$ dimana, X merupakan variabel sudut tarik dan Y merupakan hasil kekuatan tarik yang diperoleh. Penurunan kekuatan yang signifikan pada sudut yang besar akan dilakukan analisis lebih lanjut dengan pendekatan biomekanika dan fisiologis, bahwa postur membungkuk dapat meningkatkan gaya tekan tulang belakang yang meningkatkan risiko *Musculoskeletal Disorders* (MSDs). Dengan demikian, rekomendasi pada penelitian ini untuk perancangan sistem kerja adalah meminimalkan aktivitas penarikan pada posisi bungkuk yang ekstrem untuk menjaga fungsi otot dan keselamatan kerja

Kata kunci: analisis korelasi dan regresi, biomekanika, kekuatan tarik, *pull dynamometer*, *Musculoskeletal Disorders* (MSDs)

ABSTRACT

This study aims to analyze the correlation and regression between changes in pulling angle and tensile strength. The subjects of this study were 50 Industrial Engineering students from the 2024 cohort at Universitas Tarumanagara, representing a diverse range of anthropometric dimensions. A Pull Dynamometer was utilized as the primary instrument, requiring subjects to exert maximum pulling force. Each subject performed tensile strength tests at varying angles: 0°, 45°, 90°, and 135°. The collected data underwent normality, data adequacy, and data uniformity tests. The results indicated that all data were normal, sufficient, and uniform, allowing for further correlation and regression analysis to determine the relationship between pulling angle and tensile strength. The study revealed a negative correlation of 60.9%, with the regression equation $Y = 68,368 - 0,228X$ where X represents the pulling angle variable and Y represents the resulting tensile strength. The significant decrease in strength observed at larger angles was further analyzed using biomechanical and physiological approaches; it was found that a stooped posture increases compressive forces on the spine, thereby elevating the risk of Musculoskeletal Disorders (MSDs). Consequently, this study recommends that work system designs minimize pulling activities in extreme stooped positions to maintain muscle function and ensure occupational safety.

Keywords: *tensile strength, pull dynamometer, biomechanics, regression analysis, Musculoskeletal Disorders (MSDs).*

PENDAHULUAN

Kekuatan tarik otot punggung merupakan fondasi utama dalam aktivitas angkat-angkut di industri. Pengerahan gaya otot punggung yang ergonomis sangat penting karena kapasitas kekuatan maksimal otot punggung (*Maximum Voluntary Contraction/MVC*) bervariasi antarindividu, dipengaruhi oleh usia, jenis kelamin, tingkat kebugaran, serta komposisi tubuh. Kumar (2001) melaporkan bahwa pekerja pria dewasa memiliki kekuatan punggung isometrik

rata-rata sebesar 200–300 Nm, namun kapasitas ini dapat menurun secara signifikan akibat postur kerja yang buruk dan kelelahan otot. Variabilitas kekuatan ini juga dipengaruhi oleh faktor antropometri, di mana **Torik (2013)** menemukan adanya korelasi positif antara berat badan dan kekuatan tarik otot punggung, sementara **Bazzar dkk. (2022)** menunjukkan bahwa persentase lemak tubuh, lingkaran pinggang, dan lingkaran perut berhubungan signifikan dengan penurunan kekuatan otot punggung.

Dalam aktivitas angkat manual, gaya tarik otot punggung menghasilkan reaksi biomekanis pada tulang belakang sebagai struktur penopang utama tubuh. **Marras et al. (1993)** menunjukkan bahwa gaya kompresi pada segmen lumbar, khususnya L5/S1, dapat melebihi 3400 N selama aktivitas angkat, nilai yang sama atau bahkan melampaui batas aman yang direkomendasikan oleh NIOSH. Beban biomekanis yang tinggi ini diperparah ketika aktivitas dilakukan dengan postur membungkuk, yang menurut **McGill (2007)** meningkatkan momen fleksi tulang belakang dan menurunkan stabilitas segmen lumbar. Kondisi tersebut menjelaskan mengapa aktivitas angkat-angkut yang tidak ergonomis berisiko tinggi menimbulkan cedera punggung bawah.

Hingga saat ini, aktivitas angkat-angkut yang melibatkan tenaga manusia masih banyak dilakukan di sektor manufaktur dan logistik. Berbagai studi ergonomi melaporkan bahwa aktivitas ini merupakan salah satu kontributor utama terjadinya gangguan muskuloskeletal, terutama *low back pain* (LBP), yang menjadi penyebab dominan absensi kerja dan penurunan produktivitas. **da Costa dan Vieira (2010)** dalam tinjauan sistematisnya mengidentifikasi beban berlebih, postur membungkuk ekstrem, frekuensi angkat tinggi, serta durasi kerja tanpa istirahat sebagai faktor risiko utama terjadinya MSDs. Temuan serupa juga dilaporkan oleh **Punnett dan Wegman (2004)** yang menegaskan adanya hubungan kuat antara paparan biomekanis berulang dengan keluhan nyeri punggung bawah pada pekerja industri.

Untuk mengurangi risiko tersebut, berbagai pendekatan ergonomi telah direkomendasikan, antara lain desain ulang area kerja agar ketinggian dan jarak beban sesuai batas ergonomis, pelatihan teknik angkat yang benar dengan memanfaatkan kekuatan otot kaki, penggunaan alat bantu angkat, serta latihan penguatan otot punggung dan otot inti (*core*). Pendekatan kuantitatif yang banyak digunakan adalah **Revised NIOSH Lifting Equation** yang dikembangkan oleh **Waters et al. (1993)** untuk menentukan *Recommended Weight Limit* (RWL) berdasarkan kondisi kerja aktual, dengan mempertimbangkan jarak horizontal dan vertikal beban, frekuensi angkat, durasi kerja, serta kualitas pegangan. Penerapan persamaan ini terbukti efektif dalam menurunkan beban biomekanis dan risiko cedera pada aktivitas angkat-angkut (**Waters et al., 1993; McGill, 2007**).

Dengan demikian, pengukuran kekuatan tarik otot punggung menjadi aspek krusial dalam penyusunan *Standard Operating Procedure* (SOP) kegiatan angkat-angkut yang ergonomis. **Sukania (2012; 2015)** menegaskan bahwa SOP yang disusun berdasarkan data aktual kekuatan otot dan prinsip ergonomi mampu menurunkan risiko MSDs secara signifikan. Pendekatan ergonomi berbasis data ini tidak hanya berperan dalam meminimalkan risiko cedera kerja, tetapi juga mendukung peningkatan produktivitas jangka panjang serta menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, sehat, dan manusiawi.

METODE PENELITIAN

Penelitian korelasi dan regresi perubahan kekuatan tarik sebagai akibat perubahan kemiringan tubuh merupakan penelitian kuantitatif. Persamaan korelasi dan regresi didapatkan dengan mengolah data yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan software statistika, yaitu SPSS. Pada penelitian ini, responden akan diminta untuk menarik alat *pull dynamometer* dengan variasi kemiringan tubuh yang berbeda. Kemudian, hasil kekuatan penarikan mereka akan diukur. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah sudut tarikan ($^{\circ}$) dan variabel terikatnya adalah hasil kekuatan tarik (kg). Beberapa variabel lain

seperti usia, jenis kelamin, dan suhu ruangan diabaikan. Sedangkan instrumen penelitian yaitu *pull dynamometer* dan monitor pada *pull dynamometer* dengan akurasi tinggi serta formulir pencatatan data hasil pengukuran.

Responden pada penelitian ini adalah mahasiswa/i Teknik Industri Universitas Tarumanagara yang berjumlah 50 mahasiswa. Terdapat kriteria inklusi dan eksklusi yang dikenakan pada subjek yang menjadi praktikan. Kriteria inklusi yaitu mahasiswa yang memiliki kondisi fisik sehat, tidak mengalami cedera pada lengan, bahu, atau punggung, serta mampu melakukan aktivitas tarik secara maksimal menggunakan alat *pull dynamometer*. Sedangkan, kriteria eksklusi yaitu mahasiswa yang memiliki riwayat gangguan otot dan rangka, cedera pada anggota tubuh bagian atas, atau kondisi fisik tertentu yang dapat memengaruhi kemampuan tarik dan keselamatan selama kegiatan penelitian. Tempat pengambilan data dilakukan di Laboratorium Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja Program Studi Teknik Industri Universitas Tarumanagara.

Prosedur penelitian pengukuran uji kekuatan tarikan pada berbagai kemiringan tubuh yaitu:

1. Para praktikan diberikan penjelasan mengenai maksud dan tujuan praktikum uji tarik termasuk cara penggunaan alat *pull dynamometer*.
2. Persiapan dilakukan dengan memastikan bahwa *pull dynamometer* dapat berfungsi dengan baik dan praktikan dapat menyesuaikan panjang rantai sesuai dengan tinggi badan sehingga ketika melakukan penarikan tubuh terasa nyaman.
3. Praktikan berdiri dan melakukan uji kekuatan tarik pada posisi tubuh dengan sudut: 0°, 45°, 90°, dan 135° secara berurutan.
4. Kekuatan tarikan praktikan diukur pada setiap penarikan dengan sudut tubuh yang berbeda.
5. Data dicatat dan dianalisis untuk melihat pengaruh perubahan sudut tarikan terhadap hasil penarikan yang dihasilkan.

Tahap terakhir yaitu analisis data hasil pengukuran. Analisis data uji tarikan diawali dengan uji kenormalan, uji kecukupan data, uji keseragaman. Kemudian, dilanjutkan dengan analisis korelasi dan regresi untuk mengetahui pengaruh sudut tarikan terhadap kekuatan tarik. Analisis ini berguna untuk melihat pengaruh posisi tubuh terhadap kemampuan tarikan. Hasil dari penelitian ini juga dapat menjadi dasar evaluasi ergonomi pada aktivitas yang berhubungan dengan gaya tarik.

a. Peralatan penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Perancangan Sistem Kerja dan Ergonomi. Adapun peralatan utama yang digunakan yaitu *pull dynamometer* dan lembar pengambilan data seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1. *Pull Dynamometer*



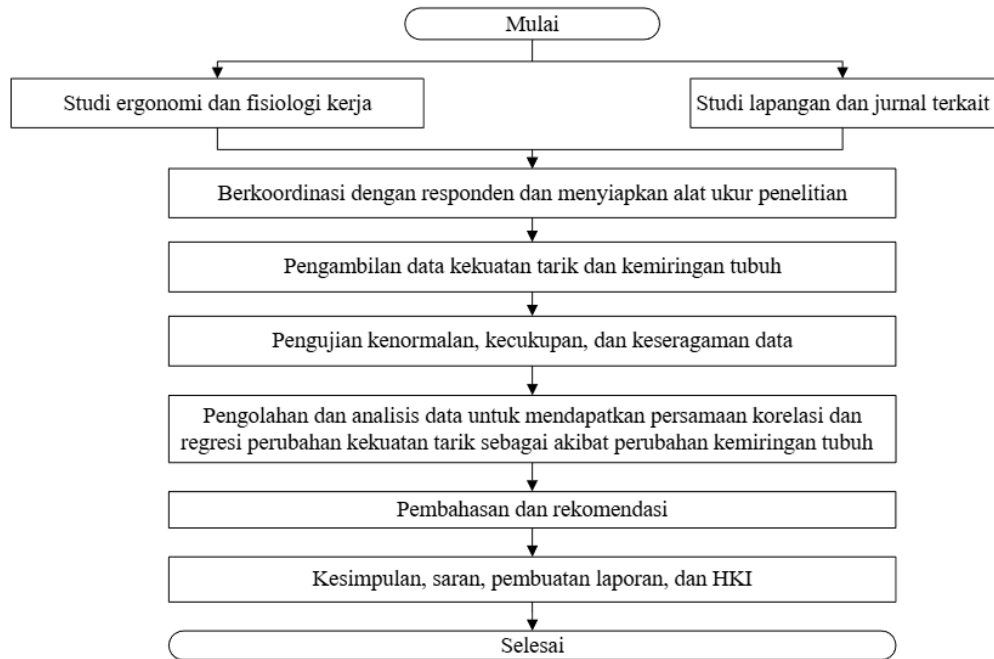
Gambar 2. Layar Monitor *Pull Dynamometer*

| LEMBAR PENGAMBILAN DATA UJI KEKUATAN TARIK | | | | | | |
|--|----------|-------------|-----|------|------|-----------------|
| Dave Azriel Kurniawan | | (545240097) | | | | |
| Jovanka Kasta Arahast | | (545240009) | | | | |
| Michael Li | | (545240017) | | | | |
| Jacky Fiermando | | (545240029) | | | | |
| Sampel | Kekuatan | | | | Mean | Standar Deviasi |
| | 0° | 45° | 90° | 135° | | |
| Dave | | | | | | |
| Jovanka | | | | | | |
| Michael | | | | | | |
| Jacky | | | | | | |
| Mean | | | | | | |
| Standar Deviasi | | | | | | |

Gambar 3. Lembar Pengambilan Data

b. Diagram alir penelitian

Tahapan kegiatan penelitian dari awal sampai selesai disajikan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

c. Prosedur Pengambilan Data

Berikut ini merupakan prosedur kerja dari pengambilan data penelitian *treadmill* sebagai berikut:

- Menyiapkan peralatan uji tarik, yaitu *pull dynamometer*.
- Menyiapkan lembar pencatatan data, *camera video* untuk mendokumentasikan jalannya penelitian.
- Mengaktifkan *pull dynamometer* dengan menekan tombol ON.
- Mengatur posisi rantai *pull dynamometer* pada kemiringan yang ditentukan, mulai dari yang kemiringan kecil ke besar yaitu 0° , 45° , 90° , dan 135° .
- Responden menarik gagang *pull dynamometer* dengan kemiringan yang ditentukan, mulai dari yang kemiringan kecil ke besar.
- Pencatatan kemiringan sudut dan kekuatan tarikan responden.
- Selesai pengambilan data responden 1 dilanjutkan dengan responden berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan penelitian oleh mahasiswa Teknik Industri Universitas Tarumanagara angkatan 2024, diperoleh masing-masing 50 data kekuatan tarik untuk 4 sudut pengukuran yang berbeda, yaitu 0° , 45° , 90° , dan 135° . Berikut beberapa dokumentasi yang diperoleh responden saat pengambilan data berlangsung.



Gambar 5. Sudut 0°



Gambar 6. Sudut 0°



Gambar 7. Sudut 45°



Gambar 8. Sudut 45°



Gambar 9. Sudut 90°



Gambar 10. Sudut 90°



Gambar 11. Sudut 135°



Gambar 12. Sudut 135°

a. Uji normalitas data

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data yang dikumpulkan bersifat normal atau tidak, yang apabila normal ditunjukkan dengan nilai signifikansi di atas 0,05. Berikut hasil uji normalitas uji kekuatan tarik pada berbagai sudut.

Tabel 1. Uji Kenormalan Data

| | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|--------|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
| | Statistic | df | Sig. | Statistic | df | Sig. |
| Deg0 | .065 | 50 | .200 [*] | .994 | 50 | .996 |
| Deg45 | .065 | 50 | .200 [*] | .990 | 50 | .952 |
| Deg90 | .080 | 50 | .200 [*] | .978 | 50 | .483 |
| Deg135 | .062 | 50 | .200 [*] | .985 | 50 | .750 |

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Dari gambar tabel di atas dapat dilihat bahwa seluruh sudut pengujian dengan total sampel 50 terdistribusi normal, yang ditandai dengan nilai signifikansi lebih dari 0,05. Untuk sudut 0 derajat, nilai sig adalah 0,996; sudut 45 derajat, nilai sig adalah 0,952; sudut 90 derajat, nilai sig adalah 0,483 derajat; dan sudut 135 derajat, nilai sig adalah 0,750.

b. Uji kecukupan data

Uji kecukupan data dilakukan untuk memastikan data yang diperoleh sudah cukup untuk dianalisis lebih lanjut, yang bergantung pada tingkat keyakinan dan penyimpangan. Berikut hasil uji kecukupan data beserta rumus dan asumsi perhitungannya

Tabel 2. Uji Kecukupan Data

| Sudut | Hasil Uji | Banyak data | Kesimpulan |
|-------|-----------|-------------|------------|
| 0° | 40.62 | 50 | Cukup |
| 45° | 41.35 | 50 | Cukup |
| 90° | 36.70 | 50 | Cukup |
| 135° | 34.41 | 50 | Cukup |

Contoh perhitungan dan rumus yang digunakan

$$k = 95\% = 2$$

$$s = 5\%$$

$$N = 50$$

$$N' = \left[\frac{k \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2$$

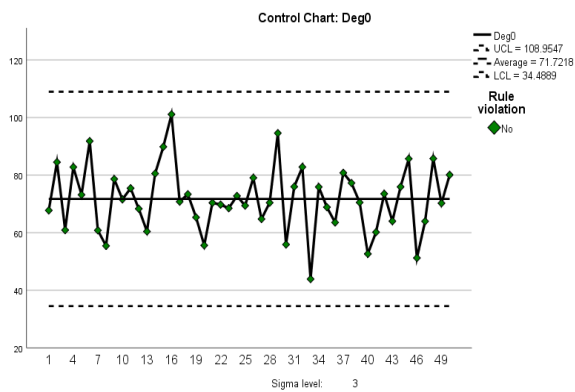
$$N' = \left[\frac{40 \sqrt{50(263.730,3) - (3586,09)^2}}{3586,09} \right]^2 = 40,62$$

Setelah melakukan pengujian kecukupan data, dapat disimpulkan bahwa seluruh data yang diperoleh dari berbagai sudut dinyatakan cukup, yang ditandai dengan nilai N' (N hitung) lebih kecil dari N (jumlah data).

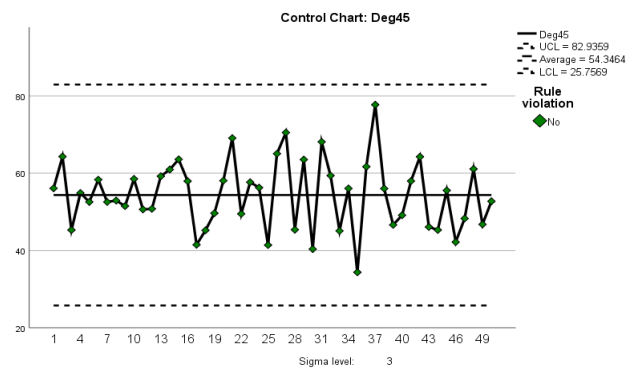
c. Uji keseragaman data

Uji ini dilakukan untuk memastikan bahwa data yang akan digunakan sudah seragam. Hal ini ditandai dengan data yang berada di antara batas control Bawah (BKB) dan Batas Kontrol Atas (BKA). Berikut adalah grafik data setiap sudut yang dilengkapi BKB dan BKA pada Gambar

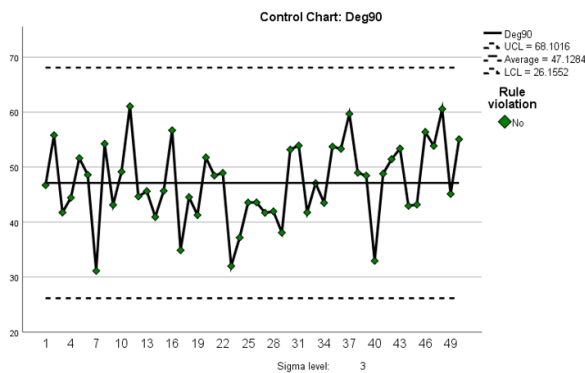
SPchart



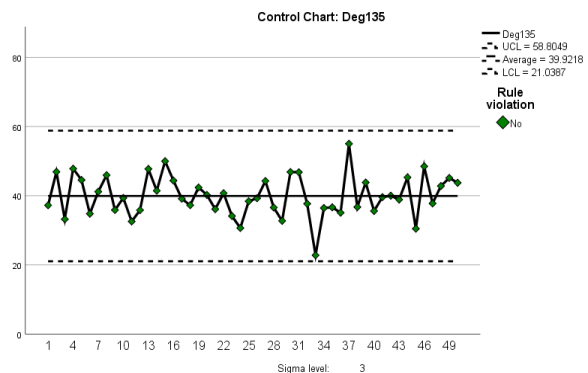
SPchart



SPchart



SPchart



Gambar 13. Uji keseragaman Data

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa seluruh data yang diolah pada penelitian ini bersifat seragam yang dibuktikan dengan data-data yang diperoleh berada di antara batas kontrol atas dan batas kontrol bawah (BKA-BKB atau UCL-LCL).

d. Analisis Regresi

Berikut merupakan hasil analisis regresi dari data-data yang diperoleh dengan mempertimbangkan sudut tarikan.

Tabel 3. Output SPSS Sebagai Koefisien Untuk Persamaan Regresi

| | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | | |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|------|
| Model | | B | Std. Error | Beta | t | Sig. |
| 1 | (Constant) | 68.368 | 1.078 | | 63.434 | .000 |
| | Sudut | -.228 | .013 | -.780 | -17.546 | .000 |

a. Dependent Variable: Kekuatan

Pada tangkapan layar di atas, dapat disimpulkan hubungan antara kekuatan tarik dengan sudut tarik diinterpretasikan pada persamaan di bawah ini

$$Y = 68,368 - 0,228X$$

dimana, X merupakan variabel sudut tarik dan Y merupakan hasil kekuatan tarik yang diperoleh. Konstanta 68,368 merupakan rata-rata hasil kekuatan tarik apabila sudut tarik bernilai 0° ($X = 0$). Koefisien negatif pada persamaan tersebut menunjukkan bahwa hubungan kekuatan dan sudut tarik berlawanan arah. Setiap adanya kenaikan sudut 1° , maka akan terjadi penurunan nilai kekuatan tarik (Y) sebesar 0,228 satuan. Hal ini sebanding dengan penelitian

terdahulu yang menyatakan bahwa postur kerja seperti membungkuk yang merupakan penyimpangan dari posisi alami dapat mengurangi efisiensi otot rangka [1]. Nilai 0,013 pada *Coefficients Std. Error* Menjelaskan tingkat kesalahan prediksi pada koefisien yang diberikan. Nilai tersebut jauh lebih kecil dibanding nilai koefisien -0,228. Hal tersebut menandakan model regresi bersifat presisi atau akurat dengan hasil perhitungan yang stabil. Nilai -0,780 pada *Standarized Coefficient Beta* merupakan hubungan kekuatan antara sudut tarik dengan kekuatan tarik yang tergolong kuat dan negatif. Hal ini terjadi karena nilai tersebut lebih mendekati -1.

e. Analisis Korelasi

Berikut merupakan hasil analisis korelasi dari data-data yang diperoleh untuk menentukan kekuatan hubungan antara sudut tarik dengan hasil kekuatan tarik.

Tabel 4. Output SPSS untuk Korelasi

| Model Summary | | | | |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1 | .780 ^a | .609 | .607 | 9.17775 |

a. Predictors: (Constant), Sudut

Gambar 23. Output SPSS Sebagai Korelasi

Pada gambar di atas, nilai koefisien korelasi atau R adalah 0,780. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan linear dari variabel kekuatan tarik, yaitu *dependent variable* dan variabel sudut tarik (yaitu *predictor variable*) berkorelasi negatif yang cukup tinggi (antara 0,75 dengan 1). Selanjutnya, nilai koefisien determinasi (R^2) bernilai 0,609 atau 60,9%. Maksud dari nilai koefisien determinasi tersebut adalah terdapat 60,9% data di antara varians atau keragaman dalam nilai-nilai pada variabel Y atau *dependent variable* dapat dijelaskan kelinearannya dengan variabel X atau *predictor variable*.

f. Pembahasan

Berdasarkan hasil uji kekuatan tarik yang dilakukan oleh mahasiswa Teknik Industri Universitas Tarumanagara tahun 2024 serta analisis korelasi dan regresi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik manusia menurun seiring dengan bertambahnya sudut tarik yang dihitung dari posisi tegak (sudut 0°). Dengan kata lain, semakin besar sudut tarik yang mengharuskan individu membungkuk, maka kemampuan menghasilkan gaya tarik akan semakin menurun. Temuan ini sejalan dengan kajian biomekanika kerja yang dikemukakan oleh **Chaffin, Andersson, dan Martin (2006)**, yang menyatakan bahwa penyimpangan postur dari posisi netral menyebabkan penurunan kapasitas gaya otot akibat meningkatnya momen fleksi dan menurunnya efisiensi mekanis tubuh. Hasil ini juga konsisten dengan penelitian ergonomi di konteks Indonesia oleh **Sukania (2012)**, yang menemukan bahwa peningkatan sudut fleksi batang tubuh pada aktivitas manual material handling berhubungan signifikan dengan penurunan kemampuan gaya kerja serta meningkatnya keluhan muskuloskeletal.

Postur membungkuk dalam aktivitas tarik dinilai sebagai postur kerja yang tidak ergonomis karena menyebabkan perubahan pola kerja otot. Kondisi ini ditandai dengan peningkatan kekakuan pada otot bahu bagian belakang (posterior deltoid) serta penurunan aktivasi otot dada, yang secara langsung berdampak pada penurunan kemampuan menghasilkan gaya tarik. **McGill (2007)** menjelaskan bahwa perubahan sudut batang tubuh memengaruhi pola rekrutmen otot dan stabilitas postural, sedangkan **Sukania (2015)** menegaskan bahwa postur kerja membungkuk yang dilakukan secara berulang meningkatkan

beban statis otot punggung dan mempercepat terjadinya kelelahan otot, khususnya pada pekerjaan dengan tuntutan gaya tarik yang tinggi.

Ditinjau dari aspek biomekanika tulang belakang, penurunan kekuatan tarik pada sudut 90° dan 135° dapat diuraikan melalui mekanisme pembebanan pada segmen L5/S1 (Lumbar 5–Sacrum 1). Pada sudut fleksi yang besar, segmen ini tidak lagi berfungsi sebagai struktur penyangga yang efektif, melainkan menjadi titik tumpu dengan beban mekanis yang tinggi. Penelitian oleh **Ade dkk. (2021)** menunjukkan bahwa aktivitas penanganan beban dengan postur tidak alami dapat meningkatkan gaya tekan pada segmen tersebut hingga melampaui batas yang direkomendasikan. Temuan ini diperkuat oleh **Marras et al. (1995)** yang menyatakan bahwa postur membungkuk secara signifikan meningkatkan gaya kompresi dan gaya geser pada segmen lumbar bawah. Dalam konteks ini, **Sukania (2012)** menegaskan bahwa sudut fleksi besar menyebabkan tulang belakang kehilangan fungsi penyangga optimal dan meningkatkan risiko cedera punggung bawah. Akibat meningkatnya beban biomekanis tersebut, sistem saraf pusat secara refleks membatasi kontraksi otot sebagai mekanisme proteksi untuk mencegah cedera, sebagaimana dijelaskan oleh **Granata dan Marras (2000)**, yang pada akhirnya tercermin pada rendahnya nilai kekuatan tarik pada sudut yang besar.

Dari sudut pandang fisiologi, pengujian kekuatan tarik pada sudut 135° menempatkan otot erector spinae—yang berperan menjaga postur tegak serta mengontrol gerakan fleksi dan rotasi tulang belakang—pada kondisi regangan yang melebihi panjang optimalnya. **De Luca (1997)** menyatakan bahwa otot yang bekerja di luar panjang optimal akan mengalami penurunan kemampuan menghasilkan gaya serta peningkatan kelelahan otot. Ketidakseimbangan antara tuntutan biomekanika dan kapasitas fisiologis ini menyebabkan otot lebih cepat mengalami kelelahan dan mempercepat risiko gangguan muskuloskeletal (Musculoskeletal Disorders/MSDs). Hal ini sejalan dengan temuan **Subakti dkk. (2020)** dan **Suryadi dkk. (2020)** yang melaporkan adanya hubungan positif yang kuat antara postur kerja yang tidak ergonomis dengan kejadian nyeri punggung bawah (low back pain). Temuan tersebut juga diperkuat oleh **Sukania (2015)** yang melaporkan peningkatan keluhan nyeri punggung bawah pada pekerja sektor manual dengan postur kerja membungkuk.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran kekuatan tarik dalam penelitian ini konsisten dengan rekomendasi ergonomi pada aktivitas manual material handling yang menekankan pentingnya mempertahankan postur kerja mendekati posisi netral. **Waters et al. (1993)** melalui persamaan angkat NIOSH merekomendasikan pengendalian sudut kerja untuk meminimalkan beban pada tulang belakang, sedangkan penelitian oleh **Hamdy dkk. (2019)** dan **Soleman dkk. (2020)** menegaskan bahwa penerapan prinsip ergonomi postur kerja yang tepat mampu mengurangi beban otot punggung dan menurunkan risiko cedera. Sejalan dengan itu, **Sukania (2012; 2015)** menekankan bahwa penerapan ergonomi postur kerja secara konsisten terbukti mampu menurunkan risiko MSDs sekaligus menjaga kapasitas gaya kerja manusia. Dengan demikian, peningkatan sudut tarik tidak hanya berdampak pada penurunan performa kekuatan tarik, tetapi juga berimplikasi langsung terhadap keselamatan dan kesehatan kerja.

KESIMPULAN

Data hasil penelitian yang melibatkan 50 mahasiswa/i Teknik Industri Universitas Tarumanagara menunjukkan adanya hubungan korelasi negatif 60,9% antara kekuatan tarik otot tungkai manusia (Y) dengan sudut tubuh saat percobaan (X). Variabel kekuatan tarik dan sudut tubuh memiliki hubungan secara linear yaitu $Y = 68,368 - 0,228X$. Peningkatan sudut tubuh saat kegiatan penarikan beban, tidak hanya berdampak pada penurunan performa kekuatan tarik, tetapi juga berimplikasi langsung terhadap keselamatan dan kesehatan kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade Andhika Saputra, Wahyudin, and Asep Erik Nugraha, "Evaluasi Aktivitas Manual Material Handling Dengan Menggunakan Metode Biomekanika Kerja Pada Pengangkatan Thiner di Bagian Warehouse," *Jurnal Sistem Teknik Industri*, vol. 23, no. 2, pp. 233–244, Jul. 2021, doi: 10.32734/jsti.v23i2.6273.
- F. A. Subakti and A. Subhan, "Analisis Ergonomi Stasion Kerja Menggunakan Metode Quick Exposure Checklist Pada PT. Sama-Altanmiah Engineering," *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, vol. 5, no. 1, p. 55, Apr. 2021, doi: 10.35194/jmtsi.v5i1.1307.
- I. Suryadi and S. Rachmawati, "WORK POSTURE RELATIONS WITH LOW BACK PAIN COMPLAINT ON PARTNERS PART OF PT 'X' MANUFACTURE TOBACCO PRODUCTS," *Journal of Vocational Health Studies*, vol. 3, no. 3, pp. 126–130, 2020, doi: 10.20473/jvhs.V3I3.2020.126-130.
- M. Ihsan Hamdy, M. Nur, A. Mas, and F. Elsa Suheri, "Analisa Postur Kerja Manual Material Handling (MMH) pada Karyawan Bagian Pembuatan Block Menggunakan Metode Rapid Upper Limb Assessment (RULA) (Studi Kasus: PT Asia Forestama Raya)," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 5, no. 1, pp. 62–65, 2019.
- A. Soleman and A. Priyadi, "ANALISIS MANUAL MATERIAL HANDLING UNTUK MEMINIMALISIR TERJADINYA MUSCULOSKELETAL DISORDER PADA PEKERJA TAHU," in *Archipelago Engineering*, Ambon, Aug. 2020, pp. 56–64.
- Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J., & Martin, B. J. (2006). *Occupational biomechanics* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- da Costa, B. R., & Vieira, E. R. (2010). Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *American Journal of Industrial Medicine*, 53(3), 285–323. <https://doi.org/10.1002/ajim.20750>
- De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(2), 135–163.
- Granata, K. P., & Marras, W. S. (2000). Cost–benefit of muscle cocontraction in protecting against spinal instability. *Spine*, 25(11), 1398–1404.
- Kumar, S. (2001). Theories of musculoskeletal injury causation. *Ergonomics*, 44(1), 17–47.
- Marras, W. S., Lavender, S. A., Leurgans, S. E., Fathallah, F. A., Ferguson, S. A., Allread, W. G., & Rajulu, S. L. (1995). Biomechanical risk factors for occupationally related low back disorders. *Ergonomics*, 38(2), 377–410.
- McGill, S. M. (2007). *Low back disorders: Evidence-based prevention and rehabilitation* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Punnett, L., & Wegman, D. H. (2004). Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(1), 13–23.

Sukania, I. W. (2012). Analisis ergonomi postur kerja terhadap keluhan muskuloskeletal pada aktivitas manual material handling. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 11(2), 85–92.

Sukania, I. W. (2015). Evaluasi risiko ergonomi pada aktivitas kerja manual menggunakan pendekatan biomekanika dan postur kerja. *Jurnal Ergonomi Indonesia*, 1(1), 15–23.

Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749–776.

Torik. (2013). Analisis pengaruh faktor antropometri terhadap kekuatan otot manusia dalam aktivitas kerja manual. *Jurnal Teknik Industri*, X(X), xx–xx.

Bazzar, A. M., & Djaali, W. (2022). Hubungan antara persentase lemak tubuh, lingkar perut, lingkar pinggang dan kekuatan otot punggung pada mahasiswa olahraga. *Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 14(1), 147–152. <https://doi.org/10.37012/jik.v14i1.714>