

# Model Graf Bipartit dan Hungarian Algorithm untuk Jadwal Latihan Hipertrofi LVHF Berbasis Tegangan Mekanis

Wildan Abdurrahman Ghazali - 13524054

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung

E-mail: [wildanag.10@gmail.com](mailto:wildanag.10@gmail.com) , [13524054@std.stei.itb.ac.id](mailto:13524054@std.stei.itb.ac.id)

**Abstrak**—Latihan resistensi yang bertujuan hipertrofi (pembesaran volume otot) dengan volume tinggi sering kali menghasilkan kelelahan sistemik yang tidak efisien. Oleh karena itu, model *low volume high frequency (LVHF)* menjadi alternatif yang menjanjikan, karena memungkinkan distribusi stimulus hipertrofi yang lebih merata dengan volume per sesi yang lebih rendah dan frekuensi yang lebih tinggi. Penelitian ini mengembangkan model penjadwalan latihan tiga kali seminggu menggunakan graf bipartit, yang menghubungkan kelompok otot dengan latihan berdasarkan skor tegangan mekanis. Masalah penjadwalan diformulasikan sebagai *matching* berbobot maksimum dan diselesaikan dengan algoritma Hungarian. Hasil penelitian ini adalah jadwal *full-body* optimal yang menjamin distribusi tegangan mekanis yang merata, variasi latihan, serta jeda pemulihan minimal 48 jam antar otot. Pendekatan ini efektif dan fleksibel untuk personalisasi program hipertrofi berbasis data.

**Kata Kunci**—*hipertrofi; jadwal latihan; graf bipartit; algoritma hungarian*

## I. PENDAHULUAN

Hipertrofi adalah peningkatan ukuran jaringan atau organ sebagai hasil peningkatan ukuran sel. Hipertrofi secara primer diakibatkan oleh adanya tegangan mekanis otot, yaitu resistensi otot melawan gaya eksternal yang merangsang mTOR, jalur enzimatik yang terlibat dalam sintesis protein. Rangsangan / stimulus mekanis ini pada setiap serat akan menciptakan fenomena yang disebut mekanotransduksi, di mana jalur anabolik akan diaktifkan. Oleh karena itu, tegangan mekanis adalah stimulus otot yang paling penting untuk memicu hipertrofi karena derajat responsivitas yang tinggi.

Peningkatan tegangan mekanis membutuhkan beban yang lebih berat yang akan meningkatkan kinerja otot. Peningkatan usaha untuk mengangkat beban dalam jangka yang panjang seiring waktu akan menimbulkan kelelahan otot (*muscle fatigue*), yaitu penurunan kemampuan otot untuk menghasilkan gaya mengangkat beban yang disebabkan oleh penumpukan asam laktat atau penurunan energi dalam tubuh. Saat otot lelah, kekuatan untuk mengangkat beban akan menurun yang mengakibatkan turunnya tegangan mekanis. Hal ini secara langsung dapat menurunkan hipertrofi.

Untuk mendapatkan hipertrofi yang optimal, diperlukan tegangan mekanis yang tinggi sekaligus kelelahan otot yang rendah. Kelelahan otot dikurangi dengan mengurangi volume / jumlah set dan repetisi, sehingga Hipertrofi dapat dimaksimalkan dengan menggunakan metode latihan *low volume*, yaitu mengurangi jumlah set dan repetisi latihan. Sementara untuk menjaga hipertrofi dan menghindari atrofi (penyusutan otot), diperlukan frekuensi latihan yang tinggi, yaitu 2-3x dalam seminggu. Oleh karena itu, metode latihan yang dirasa optimal oleh penulis adalah metode *low volume high frequency (LVHF)*.

Salah satu jadwal latihan yang menggunakan metode LVHF adalah jadwal *Full-Body Every Other Day (FBEOD)*, yaitu latihan dimana subjek melatih seluruh bagian tubuh pada satu hari, kemudian beristirahat di hari selanjutnya, lalu mengulangnya lagi. Manfaat dari jadwal latihan ini adalah subjek mendapatkan frekuensi latihan yang tinggi untuk semua bagian otot, yaitu 3.5x seminggu dan memberikan waktu istirahat yang cukup, yaitu 2 hari / 48 jam. Namun, diperlukan penstrukturan jadwal untuk latihan *Full-Body* karena akan menguras tenaga dan memicu kelelahan otot yang besar.

Dalam melakukan penstrukturan jadwal latihan FBEOD, penulis mengusulkan pendekatan penjadwalan latihan berbasis pemodelan graf bipartit, di mana simpul pertama mewakili pasangan (otot, hari latihan) dan simpul kedua mewakili daftar latihan. Hubungan antar simpul diberi bobot berdasarkan skor tegangan mekanis latihan terhadap otot tertentu, yang dapat diperoleh dari studi biomekanik dan literatur terkini. Masalah penjadwalan diformulasikan sebagai masalah *matching* berbobot maksimum dan diselesaikan dengan algoritma Hungarian, untuk memperoleh kombinasi latihan-hari yang mengoptimalkan distribusi tegangan mekanis dengan volume rendah.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Hipertrofi

#### 1) *Hipertrofi Otot dan Tegangan Mekanis*

Hipertrofi adalah peningkatan dan pertumbuhan ukuran sel otot rangka yang didapatkan melalui latihan resistensi. Terdapat tiga mekanisme utama yang mendorong hipertrofi: tegangan

mekanis, kerusakan otot, dan stress metabolik. Di antara ketiganya, penelitian terkini menempatkan tegangan mekanis sebagai stimulus paling kritis. Tegangan ini terjadi saat otot menahan atau menghasilkan gaya saat teregang, seperti dalam kontraksi eksentrik atau beban berat dengan tempo lambat secara tidak disengaja.

Secara biologis, tegangan mekanis mengaktifkan jalur mekanotransduksi seperti mTOR dan MAPK, yang berperan penting dalam meningkatkan sintesis protein otot. Respon ini terjadi tanpa harus mengandalkan kelelahan ekstrem atau stres metabolik yang tinggi, sehingga tegangan mekanis menjadi parameter yang lebih stabil dan dapat dikendalikan. Oleh karena itu, rancangan program latihan hipertrofi modern kini berfokus pada distribusi tegangan mekanis yang merata dan terukur ke seluruh kelompok otot. Penjadwalan latihan yang sistematis berdasarkan besar kecilnya tegangan mekanis yang dihasilkan suatu latihan terhadap otot tertentu menjadi langkah penting dalam mengoptimalkan adaptasi hipertrofi.

2) *Metode Latihan LVHF*

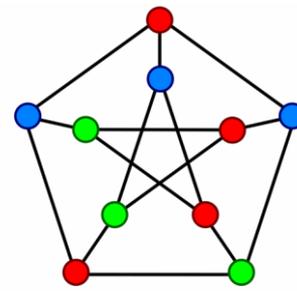
Pendekatan *Low-Volume High-Frequency* (LVHF) dalam latihan resistensi merupakan strategi yang menekankan frekuensi latihan yang lebih tinggi per minggu dengan volume set yang rendah per sesi. Berbeda dari pendekatan volume tinggi tradisional yang berfokus pada akumulasi total set dan repetisi dalam satu sesi latihan, LVHF membagi volume mingguan ke dalam beberapa sesi yang lebih ringan namun lebih sering. Misalnya, daripada melakukan 10–12 set untuk otot dada dalam satu sesi, pendekatan LVHF menyebarkan jumlah set tersebut ke dalam tiga sesi yang masing-masing hanya memuat 3–4 set.

Tujuan utama dari pendekatan ini adalah untuk menjaga kualitas kontraksi otot dan tingkat intensitas tetap tinggi pada setiap set. Ketika volume terlalu besar dalam satu sesi, sering kali kualitas kerja otot menurun karena kelelahan neuromuskular dan sistemik. Dengan menyebarkan stimulus ke beberapa hari, pendekatan LVHF memungkinkan stimulus tegangan mekanis yang lebih konsisten, sekaligus meminimalkan akumulasi kelelahan, yang pada akhirnya berdampak positif terhadap pertumbuhan otot jangka panjang.

B. *Graf*

1) *Definisi Graf*

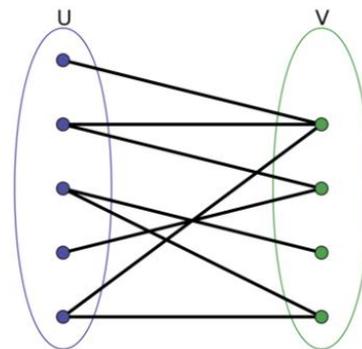
Graf adalah struktur matematika yang terdiri atas himpunan simpul (vertex) dan sisi (edge) yang menghubungkan pasangan simpul tersebut. Graf dapat digunakan untuk memodelkan relasi antar objek dalam berbagai konteks, seperti jaringan sosial, peta, sistem logistik, maupun penjadwalan. Secara formal, sebuah graf dinotasikan sebagai  $G = (V, E)$ , di mana  $V$  adalah himpunan simpul dan  $E$  adalah himpunan sisi yang menghubungkan simpul-simpul dalam  $V$ . Graf dapat bersifat terarah (directed) atau tak terarah (undirected), serta berbobot (weighted) jika setiap sisi diberi nilai tertentu, seperti biaya, jarak, atau skor.



Gambar 1. Graf  
(Diambil dari [1])

2) *Graf Bipartit*

Graf bipartit adalah jenis khusus dari graf tak terarah di mana simpul dapat dibagi menjadi dua himpunan terpisah,  $U$  dan  $V$ , sedemikian rupa sehingga setiap sisi hanya menghubungkan simpul dari  $U$  ke  $V$ . Tidak ada sisi yang menghubungkan dua simpul dalam himpunan yang sama. Secara formal, graf bipartit  $G = (U \cup V, E)$  dengan kondisi  $U \cap V = \emptyset$  dan  $\forall (u, v) \in E$ , maka  $u \in U$  dan  $v \in V$ .



Gambar 2. Graf Bipartit  
(Diambil dari [2])

Graf bipartit banyak digunakan dalam model penugasan atau *assignment problem*, di mana satu himpunan merepresentasikan “pekerjaan” dan himpunan lainnya mewakili “pekerja”, dan tugasnya adalah mencari pasangan penugasan yang optimal. Jika graf berbobot, maka solusi dari masalah matching dapat dicari dengan memaksimalkan atau meminimalkan total bobot antar pasangan simpul. Hal ini menjadi dasar bagi algoritma Hungarian dalam menyelesaikan penugasan berbobot secara optimal.

C. *Algoritma Hungarian*

1) *Definisi Algoritma Hungarian*

*Hungarian Algorithm* / Algoritma Hungarian (biasa disebut juga *Hungarian Method* / Metode Hungarian) adalah algoritma yang digunakan untuk menemukan penugasan / *assignment* yang optimal untuk matriks biaya (*cost matrix*). Algoritma ini dicetuskan oleh Harold Kuhn pada 1955 untuk memecahkan

masalah penugasan (*assignment problem*). Deskripsi dari *assignment problem* adalah sebagai berikut:

Terdapat  $n$  pekerjaan dan  $n$  pekerja. Setiap pekerja masing-masing memiliki biaya untuk setiap pekerjaan. Setiap pekerja hanya bisa ditugaskan untuk 1 pekerjaan. Tugas dari permasalahan ini adalah untuk menugaskan setiap pekerjaan kepada pekerja tertentu agar total biaya seminimal mungkin.

Masalah ini melibatkan pencocokan satu-ke-satu antara dua himpunan (misalnya pekerjaan dan pekerja) dengan tujuan memaksimalkan atau meminimalkan total bobot dari pasangan yang dipilih. Dalam konteks graf bipartit  $G = (U \cup V, E)$  dengan bobot pada setiap sisi, algoritma Hungarian mencari matching sempurna berbobot maksimum (atau minimum).

Algoritma ini bekerja dengan membangun struktur berbasis matriks biaya (*cost matrix*), lalu mengaplikasikan serangkaian transformasi—seperti pengurangan baris dan kolom, serta pelacakan jalur nol—untuk menemukan solusi optimal tanpa harus mengevaluasi semua kemungkinan kombinasi. Kompleksitas waktu dari algoritma ini adalah  $O(n^3)$  untuk  $n$  tugas, sehingga cukup efisien untuk kasus praktis seperti penjadwalan latihan personal.

Jalan Algoritma ini adalah sebagai berikut:

- Konversi biaya tiap pekerja menjadi matriks biaya  $C[n][n]$ , di mana  $C[i][j]$  menyatakan biaya jika pekerja  $k$  mengerjakan tugas ke- $i$ .
- Untuk setiap baris pada matriks biaya, Cari elemen terkecil di baris itu, lalu kurangi semua elemen di baris dengan nilai minimum tersebut sehingga setiap baris akan memiliki setidaknya satu nol
- Lakukan hal yang sama untuk setiap kolom
- Tutupi semua elemen nol dalam matriks dengan jumlah minimum garis horizontal atau vertikal. Langkah ini dapat dilakukan dengan cara menandai baris/kolom kosong, lalu lakukan pelacakan untuk menutupi semua nol dengan jumlah garis sekecil mungkin
- Jika jumlah garis =  $n$  (jumlah tugas), maka solusi optimal ditemukan. Pilih nol bebas konflik (tidak berbagi baris atau kolom) hingga terdapat pasangan pekerja
- Jika jumlah garis  $< n$ , maka :
  - Cari elemen terkecil  $k$  dari elemen yang tidak tertutup garis.
  - Kurangi  $k$  dari semua elemen tidak tertutup.
  - Tambahkan  $k$  ke semua elemen di perpotongan dua garis
  - Tutupi semua elemen nol dalam matriks dengan jumlah minimum garis horizontal atau vertikal. Langkah ini dapat dilakukan dengan cara menandai baris/kolom kosong, lalu lakukan pelacakan untuk menutupi semua nol dengan jumlah garis sekecil mungkin

- Ulangi proses hingga terdapat  $n$  buah garis. Kemudian, Pilih nol bebas konflik (tidak berbagi baris atau kolom) hingga terdapat pasangan pekerja.

### III. METODE

#### A. Pemodelan Jadwal Latihan dengan Graf Bipartit

Penstrukturan jadwal ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif-komputasional untuk menyusun jadwal latihan hipertrofi secara terstruktur berbasis *low-volume high-frequency* (LVHF). Jadwal dirancang untuk satu individu, dengan tujuan memaksimalkan total tegangan mekanis mingguan terhadap seluruh kelompok otot besar, menggunakan prinsip matching optimal dalam model graf bipartit berbobot.

Skema latihan yang digunakan bersifat full-body training dengan frekuensi tiga kali per minggu (misalnya Senin–Rabu–Jumat), yang mengakomodasi jeda  $\geq 48$  jam antaraktivasi kelompok otot yang sama. Volume per otot dibatasi dalam rentang 1–3 set per sesi untuk menjaga kualitas kontraksi dan meminimalkan kelelahan sistemik, sesuai prinsip LVHF.

Penjadwalan dimodelkan sebagai graf bipartit berbobot  $G = (U \cup V, E)$ , dengan struktur sebagai berikut:

- Himpunan  $U$  (otot): target aktivasi kelompok otot
- Himpunan  $V$  (opsi): latihan-latihan terpilih yang relevan.
- Sisi  $E$ : mewakili keterhubungan antara latihan dan target otot pada hari tertentu, dengan bobot berupa skor tegangan mekanis

Nilai bobot (*edge weight*) antara simpul  $U$  dan  $V$  didasarkan pada skor tegangan mekanis masing-masing latihan terhadap otot yang ditargetkan. Skor ini dikompilasi aktivasi otot menggunakan EMG (*Electromyography*) dari berbagai sumber dengan rumus penghitungan skor tegangan mekanis otot pada tiap jenis latihan diberikan berdasarkan aktivasi otot adalah:

$$MT = \%MVIC$$

Keterangan:

MT = Mechanical Tension Score

%MVIC = %Maximum Voluntary Isometric Contraction (Satuan standar pengukuran aktivasi otot berdasarkan EMG)

Kemudian, berikut adalah daftar persentase MVIC untuk setiap latihan dengan bagian otot yang dilatih:

Otot / %MVIC Jenis Latihan	%MVIC Lateral Raise	%MVIC Frontal Raise	%MVIC Shoulder Press	%MVIC Reverse Fly
Anterior deltoid	~40%	~90%	~70%	-
Medial deltoid	~70%	~30%	~60%	~40%

Posterior deltoid	~50%	~20%	~20%	~65%
-------------------	------	------	------	------

Tabel 1. Persebaran %MVIC pada latihan untuk otot deltoid (bahu)

Otot / %MVIC Jenis Latihan	%MVIC Flat Bench Press	%MVIC Chest Fly	%MVIC Incline Bench press (30°)
Upper Chest	~27%	~25%	~30%
Middle Chest	~28%	~41%	~19%
Lower Chest	~25%	~40%	~15%

Tabel 2. Persebaran %MVIC pada latihan untuk otot dada

Otot / %MVIC Jenis Latihan	%MVIC Lat Pulldown	%MVIC Seated Row	%MVIC Keenan flaps
Latissimus Dorsi	~26%	~37%	~48%
Rhomboid / Trapezius	~22%	~35%	~10%

Tabel 3. Persebaran %MVIC pada latihan untuk otot punggung

Otot / %MVIC Jenis Latihan	%MVIC Squat	%MVIC Leg Extension	%MVIC Leg Curl	%MVIC Nordic Curl
Quadriceps (Vastus Lateralis & Vastus Medialis)	~55%	~60%	-	-
Hamstring ( Bicep Femoris )	~22%	~35%	~64%	~90%

Tabel 4. Persebaran %MVIC pada latihan untuk otot kaki

Otot / %MVIC Jenis Latihan	%MVIC Cable Tricep Extension	%MVIC Preacher Curl
Tricep	~70%	-
Bicep	-	~75%

Tabel 5. Persebaran %MVIC pada latihan untuk otot tangan

Model graf bipartit dengan  $G = (U \cup V, E)$  dibuat menggunakan Bahasa pemrograman python dengan bantuan library matplotlib dan NetworkX:

```
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt

# 1. Himpunan U (muscle targets)
muscles = [
    'Anterior Delt', 'Medial Delt', 'Posterior Delt', 'Upper Chest',
    'Middle Chest', 'Lower Chest', 'Latissimus Dorsi', 'Rhomboid',
    'Quadriceps', 'Hamstring', 'Tricep', 'Bicep'
]

# 2. Himpunan V (exercise options)
exercises = [
    'Lateral Raise', 'Frontal Raise', 'Shoulder Press', 'Reverse Fly',
    'Flat Bench Press', 'Chest Fly', 'Incline Bench Press', 'Lat Pulldown',
    'Seated Row', 'Keenan Flaps', 'Squat', 'Leg Extensions',
    'Leg curl', 'Nordic curl', 'Cable Tricep Extension', 'Preacher curl'
]

# 3. Mechanical Tension score berdasarkan %MVIC
mt_scores = [
    [0.4, 0.9, 0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # Anterior Delt
    [0.7, 0.3, 0.6, 0.4, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # Medial Delt
    [0.5, 0.2, 0.2, 0.65, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # Posterior Delt
    [0.0, 0.0, 0.27, 0.25, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # Upper Chest
    [0.0, 0.0, 0.28, 0.41, 0.19, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # Middle Chest
    [0.0, 0.0, 0.25, 0.40, 0.15, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # Lower Chest
    [0.0, 0.0, 0.0, 0.26, 0.37, 0.48, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # Latissimus Dorsi
    [0.0, 0.0, 0.0, 0.22, 0.35, 0.1, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # Rhomboid
    [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.55, 0.6, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # Quadriceps
    [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.22, 0.35, 0.64, 0.9, 0.0, 0.0], # Hamstring
    [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.7, 0.0], # Tricep
    [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.75, 0.0] # Bicep
]
```

Gambar 3. Program Python berisi otot dan latihan (Diambil dari arsip penulis)

```
# 4. Buat edge berbobot
edges = []
for i in range(len(muscles)):
    for j in range(len(exercises)):
        score = mt_scores[i][j]
        if score > 0:
            edges.append((muscles[i], exercises[j], score))

# 5. Buat graf
G = nx.Graph()
G.add_nodes_from(muscles, bipartite=0)
G.add_nodes_from(exercises, bipartite=1)
G.add_weighted_edges_from(edges)

# Tambah sisi dengan bobot
for u, v, w in edges:
    G.add_edge(u, v, weight=w)

# Posisi untuk visualisasi bipartit
pos = dict()
pos.update((node, (0, i)) for i, node in enumerate(muscles))
pos.update((node, (1, i)) for i, node in enumerate(exercises))

# Gambar graf
plt.figure(figsize=(14, 8))
nx.draw(
    G, pos, with_labels=True, node_color='lightgreen',
    node_size=2500, font_size=10, edge_color='gray'
)
edge_labels = nx.get_edge_attributes(G, 'weight')
nx.draw_networkx_edge_labels(G, pos, edge_labels=edge_labels)

plt.title("Model Graf Bipartit Berbobot: Otot ↔ Latihan (Tegangan Mekanis)")
plt.axis('off')
plt.tight_layout()
plt.show()
```

Gambar 4. Program Python pemodelan Graf bipartite (Diambil dari arsip penulis)

Setelah program dijalankan, matplotlib.pyplot menampilkan model graf bipartit berikut:

### B. Penerapan Algoritma Hungarian

Algoritma Hungarian digunakan untuk melakukan penstrukturan jadwal latihan dengan memastikan bahwa setiap bagian otot yang ada pada partisi simpul Muscle mendapatkan 1 latihan dengan skor tegangan mekanis terbesar dan memastikan

bahwa latihan tersebut bukan latihan yang sudah dipilih untuk otot sebelumnya.

Sebelum menjalankan Algoritma Hungaria untuk melakukan penstrukturan jadwal, konversi graf bipartit ke matriks biaya dengan langkah-langkah berikut dilakukan terlebih dahulu:

- Membuat matriks biaya berukuran jumlah bagian otot X jumlah latihan berdasarkan skor tegangan mekanis latihan tiap bagian otot
- Mengisi matriks biaya dengan elemen ij adalah 1 - skor tegangan mekanis. Hal ini (1 - skor tegangan mekanis) dilakukan untuk mencapai maksimasi, karena Algoritma Hungaria aslinya mencari minimasi biaya sehingga score tertinggi adalah biaya terendah.

Setelah graf bipartite dikonversi, Algoritma Hungaria dijalankan agar jadwal dapat dihasilkan. Di sini penulis menggunakan bantuan program python dengan library numpy dan scipy. Berikut adalah program python untuk mengonversi graf menjadi matriks biaya dan mengeksekusi algoritma Hungaria:

```
import numpy as np
from scipy.optimize import linear_sum_assignment
# Buat matriks biaya (negasi dari skor karena Hungaria mencari minimasi)
cost_matrix = np.ones((len(muscles), len(exercises)))

for i in range(len(muscles)):
    for j in range(len(exercises)):
        score = mt_scores[i][j]
        if score > 0:
            cost_matrix[i][j] = 1 - score #Semakin tinggi skor, semakin rendah biaya

# Jalankan algoritma Hungaria (Linear Sum Assignment)
row_ind, col_ind = linear_sum_assignment(cost_matrix)

# Ambil hasil assignment optimal
assignments = [(muscles[i], exercises[j], mt_scores[i][j])
                for i, j in zip(row_ind, col_ind) if mt_scores[i][j] > 0]
# Buat graf bipartit hasil assignment saja
G_assign = nx.Graph()
G_assign.add_nodes_from(muscles, bipartite=0)
G_assign.add_nodes_from(exercises, bipartite=1)
G_assign.add_weighted_edges_from([(m, e, w) for m, e, w in assignments])

# Gunakan posisi yang sama seperti sebelumnya# Gambar graf hasil assignment
plt.figure(figsize=(28, 20))
nx.draw(G_assign, pos, with_labels=True, node_color='lightcoral',
        node_size=3000, font_size=10, edge_color='black', width=2)
edge_labels = {(m, e): f"{w:.2f}" for m, e, w in assignments}
nx.draw_networkx_edge_labels(G_assign, pos, edge_labels=edge_labels, font_size=8)
plt.axis('off')
plt.tight_layout()
plt.show()
```

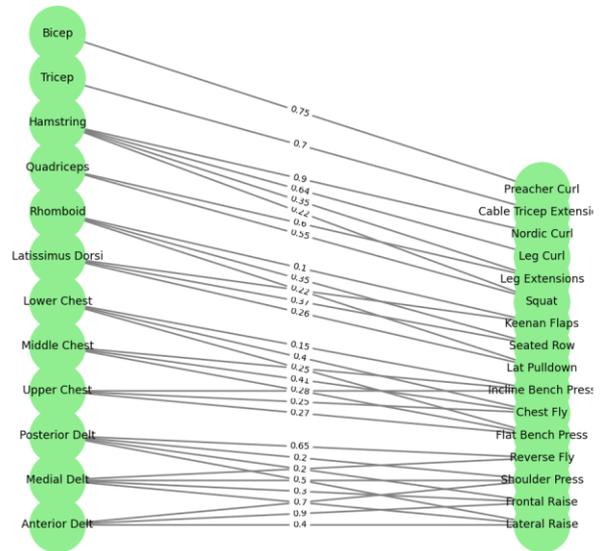
Gambar 5. Program Python untuk melakukan Algoritma Hungaria (Diambil dari arsip penulis)

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Hasil

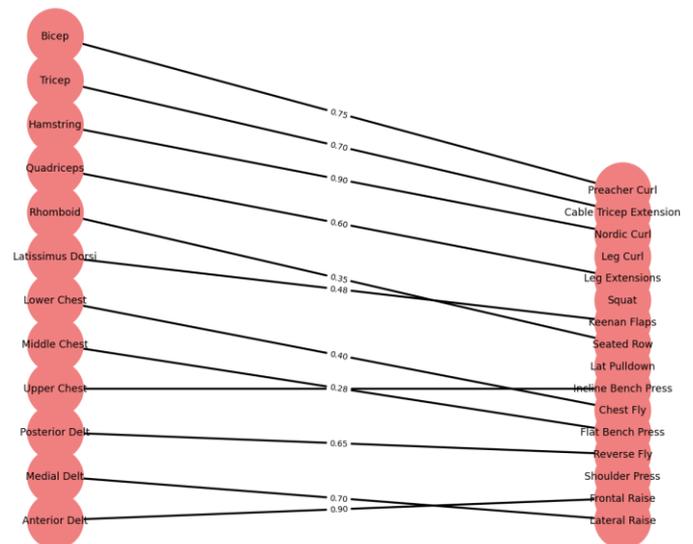
Hasil dari pemodelan graf bipartit  $G = (U \cup V, E)$ , dengan struktur sebagai berikut:

- Himpunan U (otot): target aktivasi kelompok otot
- Himpunan V (opsi): latihan-latihan terpilih yang relevan.
- Sisi E: mewakili keterhubungan antara latihan dan target otot pada hari tertentu, dengan bobot berupa skor tegangan mekanis



Gambar 6. Model graf bipartit antara latihan dan otot (Diambil dari arsip penulis)

Kemudian, setelah algoritma Hungaria dieksekusi, graf bipartit berubah menjadi berikut:



### Gambar 7. Model Graf bipartit setelah dilakukan algoritma Hungarian

(Diambil dari arsip penulis)

Hasil dari proses ini menunjukkan setiap otot diberikan satu latihan yang paling efektif menstimulasi otot tersebut. Berikut adalah tabel jadwal latihan:

Kelompok Otot	Latihan Terpilih	Skor Tegangan Mekanis
Anterior Delt	Frontal Raise	0.90
Medial Delt	Lateral Raise	0.70
Posterior Delt	Reverse Fly	0.65
Upper Chest	Incline Bench Press	0.30
Middle Chest	Flat Bench Press	0.28
Lower Chest	Chest Fly	0.40
Latissimus Dorsi	Keenan Flaps	0.48
Rhomboid	Seated Row	0.35
Quadriceps	Leg Extensions	0.60
Hamstring	Nordic Curl	0.90
Tricep	Cable Tricep Extension	0.7
Bicep	Preacher Curl	0.75

Tabel 6. Jadwal Latihan Optimal FBEOD

#### B. Pembahasan

Latihan seperti *Frontal Raise* dan *Nordic Curl* muncul sebagai pilihan dominan dengan skor tegangan mekanis tertinggi, menandakan efektivitas tinggi dalam menstimulasi hipertrofi otot anterior deltoid dan hamstring.

Penggunaan graf bipartit berbobot terbukti efektif dalam memodelkan relasi antara latihan dan otot, sekaligus memungkinkan penerapan algoritma optimasi untuk menghasilkan keputusan latihan yang paling optimal. Pemilihan algoritma Hungarian sebagai metode penyelesaian masalah penugasan (assignment problem) sangat relevan dalam konteks ini, karena dapat mengalokasikan latihan dengan nilai tegangan mekanis maksimum secara global.

Hasil ini dapat langsung digunakan untuk menyusun jadwal latihan hipertrofi yang efisien, terstruktur, dan berbasis sains. Pendekatan ini juga dapat diperluas untuk menyesuaikan dengan kebutuhan individu lain, baik dari segi variasi latihan, keterbatasan alat, atau preferensi personal.

### V. KESIMPULAN

Penstrukturan jadwal latihan hipertrofi berbasis tegangan mekanis dan frekuensi tinggi menggunakan model graf bipartit berbobot serta penerapan algoritma Hungarian untuk memperoleh pemetaan optimal antara latihan dan otot target yang memaksimalkan stimulus mekanis menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu menghasilkan distribusi latihan yang spesifik dan efisien, sesuai prinsip *low volume high frequency* (LVHF), dengan jeda pemulihan otot minimal 48 jam. Setiap latihan yang dipilih merepresentasikan nilai %MVIC tertinggi untuk kelompok otot terkait, berdasarkan data dari studi elektromiografi terkini.

Tabel 6 menunjukkan bahwa setiap bagian otot dapat dilatih hanya 1x per sesi dengan memilih latihan yang paling optimal. Latihan dilakukan menggunakan split / jadwal FBEOD, yaitu latihan seluruh tubuh pada 1 hari, istirahat di hari selanjutnya, dan ulangi.

Pendekatan ini juga memberikan dasar kuantitatif dalam menyusun jadwal latihan individual, yang dapat disesuaikan lebih lanjut dengan batasan volume, waktu pemulihan, dan kebutuhan personal. Di sisi lain, keterbatasan pada cakupan data aktivasi dan kemungkinan tumpang tindih aktivasi otot menunjukkan bahwa metode ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut.

Dengan demikian, model graf bipartit berbobot dan algoritma Hungarian terbukti menjadi metode yang relevan dan efektif untuk menyusun jadwal latihan hipertrofi yang berbasis ilmiah dan personalisasi tinggi.

### VI. SARAN

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan pada makalah ini yang dapat diperbaiki dalam penelitian selanjutnya, yaitu:

- Pemanfaatan topik graf dalam konteks Matematika Diskrit kurang diperhatikan
- Kurangnya studi formulasi untuk menghitung skor tegangan mekanis
- Kurang banyaknya jenis latihan untuk mengetahui jadwal yang lebih optimal

### VII. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan kasih karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan makalah kali ini dengan baik dan tanpa kendala. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada keluarga serta teman-teman yang telah memberikan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada dosen-dosen pengampu mata kuliah IF1220 terutama kepada Dr. Arrival Dwi Sentosa, S.Kom., M. T. selaku dosen pengampu mata kuliah IF1220 untuk kelas 02 karena telah memberikan pengetahuan yang dapat digunakan penulis untuk menulis makalah ini. Penulis berharap bahwa makalah ini nanti

kedepannya dapat digunakan sebagai referensi baik bagi para pelajar maupun pembaca secara umum.

#### LAMPIRAN

Berikut adalah source code untuk pemodelan graf bipartit dan algoritma Hungarian:

[wzlyy/Model-Graf-Bipartit-dan-Hungarian-Algorithm-untuk-Jadwal-Latihan-Hipertrofi-LVHF-](#)

#### REFERENCES

- [1] <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/20-Graf-Bagian1-2024.pdf> , disadur pada 19 Juni 2025.
- [2] <https://educativesite.com/bipartite-graph-and-complete-bipartite-graph> , disadur pada 19 Juni 2025.
- [3] [https://web.archive.org/web/20120105112913/http://www.math.harvard.edu/archive/20\\_spring\\_05/handouts/assignment\\_overheads.pdf](https://web.archive.org/web/20120105112913/http://www.math.harvard.edu/archive/20_spring_05/handouts/assignment_overheads.pdf) , disadur pada 19 Juni 2025.
- [4] <https://cp-algorithms.com/graph/hungarian-algorithm.html> , disadur pada 19 Juni 2025.
- [5] Coratella G, Tornatore G, Longo S, Esposito F, Cè E. An Electromyographic Analysis of Lateral Raise Variations and Frontal Raise in Competitive Bodybuilders. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Aug 19;17(17):6015. doi: 10.3390/ijerph17176015. PMID: 32824894; PMCID: PMC7503819.
- [6] Campos YAC, Vianna JM, Guimarães MP, Oliveira JLD, Hernández-Mosqueira C, da Silva SF, Marchetti PH. Different Shoulder Exercises Affect the Activation of Deltoid Portions in Resistance-Trained Individuals. *J Hum Kinet*. 2020 Oct 31;75:5-14. doi: 10.2478/hukin-2020-0033. PMID: 33312291; PMCID: PMC7706677.
- [7] Lehman GJ, Buchan DD, Lundy A, Myers N, Nalborczyk A. Variations in muscle activation levels during traditional latissimus dorsi weight

training exercises: An experimental study. *Dyn Med*. 2004 Jun 30;3(1):4. doi: 10.1186/1476-5918-3-4. PMID: 15228624; PMCID: PMC449729.

- [8] <https://t-nation.com/t/inside-the-muscles-best-back-and-biceps-exercises/284621> , disadur pada 20 Juni 2025.
- [9] <https://t-nation.com/t/inside-the-muscles-best-leg-glute-and-calf-exercises/284622> , disadur pada 20 Juni 2025.
- [10] Signorile, Joseph F.1,2; Lew, Karen M.1; Stoutenberg, Mark3; Pluchino, Alessandra4; Lewis, John E.5; Gao, Jinrun6. Range of Motion and Leg Rotation Affect Electromyography Activation Levels of the Superficial Quadriceps Muscles During Leg Extension. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28(9);p 2536-2545, September 2014. | DOI: 10.1519/JSC.0000000000000582

#### PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 1 Juni 2025



Wildan Abdurrahman Ghazali - 13524054