

# Optimasi UMR di Indonesia Menggunakan Teori Graf untuk Menyeimbangkan Beban Perusahaan dan Kebutuhan Pekerja

Naufarrel Zhafif Abhista - 13523149

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

13523149@std.stei.itb.ac.id

naufarrelzhafifabhista@gmail.com

**Abstrak**—Makalah ini membahas optimasi penetapan Upah Minimum Regional (UMR) di Indonesia menggunakan pendekatan teori graf. Penelitian ini memodelkan hubungan antar faktor seperti inflasi, PDRB per kapita, produktivitas pekerja, tingkat pengangguran, dan median upah. Graf berbobot digunakan untuk merepresentasikan hubungan antar faktor, sementara algoritma *Minimum Spanning Tree* (MST) diaplikasikan untuk menyederhanakan graf menjadi hubungan optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PDRB per kapita merupakan faktor dominan yang memengaruhi sistem UMR. Makalah ini menggambarkan bagaimana pencarian korelasi antar faktor dapat diterapkan untuk menyeimbangkan kebutuhan pekerja dan kemampuan perusahaan.

**Kata Kunci:** *Upah Minimum Regional, Teori Graf, Minimum Spanning Tree, Produktivitas Tenaga Kerja*

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Upah Minimum Regional (UMR) merupakan salah satu kebijakan strategis dalam menjaga keseimbangan antara hak pekerja untuk mendapatkan penghasilan layak dan kebutuhan perusahaan untuk menjaga stabilitas finansial. Kebijakan ini berperan penting dalam meningkatkan kesejahteraan pekerja, terutama di sektor-sektor dengan tingkat penghasilan rendah. Namun, dinamika ekonomi yang terus berkembang, seperti inflasi, pertumbuhan ekonomi, dan kebutuhan dasar yang meningkat, membuat penetapan UMR menjadi semakin kompleks.

Di sisi lain, perusahaan sering menghadapi tantangan untuk mematuhi kebijakan UMR tanpa mengorbankan efisiensi operasional. Banyak perusahaan kecil dan menengah yang kesulitan menyesuaikan struktur biaya mereka dengan kenaikan UMR, yang dapat berdampak pada pemutusan hubungan kerja atau bahkan penutupan usaha. Kondisi ini menimbulkan dilema antara memperjuangkan kesejahteraan pekerja dan menjaga keberlanjutan usaha, yang memerlukan solusi yang lebih inovatif dan berbasis data.

Saat ini, pendekatan yang digunakan untuk menetapkan UMR cenderung bersifat linear dan kurang mempertimbangkan interaksi kompleks antara berbagai variabel. Hal ini membuka peluang untuk mengadopsi pendekatan analitis

berbasis teori graf. Dengan teori graf, hubungan antara berbagai faktor seperti tingkat inflasi, produktivitas pekerja, kebutuhan hidup layak, dan kapasitas perusahaan dapat dimodelkan secara lebih terstruktur dan komprehensif. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih dalam terhadap pengaruh timbal balik antar variabel, sehingga menghasilkan solusi yang lebih adil dan efisien.

Dengan demikian, optimasi UMR menggunakan teori graf menjadi pendekatan yang menjanjikan dalam menyeimbangkan kebutuhan pekerja dan beban perusahaan. Pendekatan ini tidak hanya membantu menemukan solusi optimal secara matematis, tetapi juga memberikan kerangka kerja untuk pengambilan keputusan yang berbasis data dan bukti. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi teori graf dalam mengatasi permasalahan kompleks penetapan UMR di Indonesia.

### B. Rumusan Masalah

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

- 1) Bagaimana teori graf dapat digunakan untuk memodelkan hubungan antara kebutuhan pekerja dan beban perusahaan dalam penetapan UMR?
- 2) Apa solusi optimal yang dapat dihasilkan dari model tersebut untuk menyeimbangkan kebutuhan kedua pihak?
- 3) Bagaimana penerapan model ini dapat membantu pengambilan keputusan yang lebih objektif dalam kebijakan UMR?

### C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

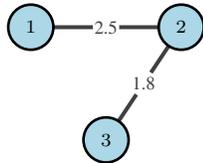
- 1) Mengembangkan model berbasis teori graf untuk menganalisis dan mengoptimalkan penetapan UMR.
- 2) Mengidentifikasi solusi optimal yang menyeimbangkan kebutuhan pekerja dan kemampuan perusahaan.
- 3) Memberikan rekomendasi yang dapat digunakan oleh pembuat kebijakan untuk meningkatkan efektivitas penetapan UMR di Indonesia.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Teori Graf

Teori graf adalah cabang dari matematika diskret yang mempelajari struktur yang terdiri dari simpul (nodes) dan sisi (edges) yang menghubungkan simpul-simpul tersebut. Berikut adalah konsep-konsep dasar dalam teori graf yang relevan untuk penelitian ini:

1) *Graf Berbobot*: Graf berbobot (weighted graph) adalah graf di mana setiap sisi memiliki bobot tertentu yang merepresentasikan intensitas atau biaya hubungan antar simpul. Dalam konteks ini, bobot dapat digunakan untuk menunjukkan pengaruh relatif antar faktor.



Gambar 1: Contoh Graf Berbobot (Dokumentasi Penulis)

2) *Adjacency Matrix*: Matriks adjacency digunakan untuk merepresentasikan graf dalam bentuk matriks, di mana elemen matriks  $a_{ij}$  bernilai 1 jika ada sisi dari simpul  $i$  ke  $j$ , dan 0 jika tidak ada. Untuk graf berbobot, elemen matriks merepresentasikan bobot sisi tersebut.

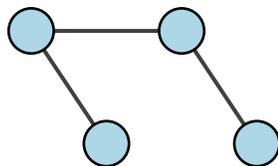
Misalnya, untuk graf pada Figure 1, matriks *adjacency*-nya adalah:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 2.5 & 0 \\ 2.5 & 0 & 1.8 \\ 0 & 1.8 & 0 \end{bmatrix}$$

dan untuk graf pada Figure 1, matriks *adjacency*-nya adalah:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3) *Pohon*: Pohon adalah graf terhubung yang tidak memiliki siklus. Pohon sering digunakan untuk memodelkan hierarki atau struktur yang linear. Dalam pohon, terdapat simpul akar (root) dan simpul daun (leaves).

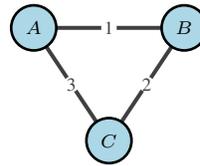


Gambar 2: Contoh Pohon (Dokumentasi Penulis)

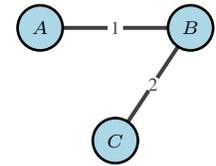
4) *Minimum Spanning Tree (MST)*: Minimum Spanning Tree (MST) adalah subgraf pohon dari graf berbobot yang menghubungkan semua simpul dengan total bobot minimum. MST sering digunakan untuk menemukan cara paling efisien menghubungkan simpul dalam sebuah graf.

Misalnya, untuk graf berbobot berikut:

MST dari graf ini adalah sisi  $(A, B)$  dan  $(B, C)$ , dengan total bobot  $1 + 2 = 3$ .



Gambar 3: Graf untuk Algoritma Prim (Dokumentasi Penulis)



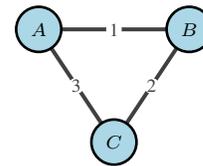
Gambar 4: *Minimum Spanning Tree* (Dokumentasi Penulis)

5) *Prim's Algorithm*: Prim's Algorithm adalah algoritma untuk menemukan MST dengan memulai dari simpul awal dan menambahkan sisi dengan bobot terkecil yang menghubungkan simpul ke simpul lainnya.

**Langkah-langkah:**

- 1) Pilih simpul awal.
- 2) Pilih sisi dengan bobot terkecil yang menghubungkan simpul dalam pohon ke simpul di luar pohon.
- 3) Ulangi langkah 2 hingga semua simpul terhubung.

Misalnya, untuk graf berikut:



Gambar 5: Graf untuk MST (Dokumentasi Penulis)

**Hasil:**

- 1) Pilih simpul  $A$ .
- 2) Pilih sisi  $(A, B)$  dengan bobot 1.
- 3) Pilih sisi  $(B, C)$  dengan bobot 2.

MST yang dihasilkan memiliki total bobot  $1 + 2 = 3$ .

### B. Pekerja/Karyawan

Pekerja atau karyawan didefinisikan sebagai individu yang bekerja pada perusahaan atau pemberi kerja dengan menerima upah atau imbalan dalam bentuk lain sesuai dengan perjanjian kerja. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja, pekerja memiliki hak atas perlakuan yang adil dalam hubungan kerja, termasuk upah minimum, waktu kerja, serta jaminan keselamatan dan kesehatan kerja.

Salah satu hak utama pekerja adalah penerimaan upah yang tidak kurang dari upah minimum yang ditetapkan oleh pemerintah. Perusahaan dilarang membayar upah lebih rendah dari standar minimum tersebut. Selain itu, pekerja dengan status Perjanjian Kerja Waktu Tertentu (PKWT) memiliki batas masa kerja maksimal 5 tahun, memberikan fleksibilitas lebih bagi kedua belah pihak dalam mengatur hubungan kerja.

Pekerja juga berhak atas uang pesangon jika terjadi pemutusan hubungan kerja (PHK). Ketentuan mengenai pesangon diatur dalam UU Cipta Kerja, yang menetapkan bahwa pekerja

dengan masa kerja lebih dari 8 tahun berhak atas uang pesangon hingga 9 kali upah bulanan. Selain itu, UU ini memperjelas hak pekerja untuk mendapatkan uang penghargaan masa kerja dan uang penggantian hak sesuai dengan kondisi tertentu.

Dalam konteks ekonomi, pekerja tidak hanya berperan sebagai tenaga kerja yang mendukung proses produksi barang atau jasa, tetapi juga sebagai konsumen utama. Dengan upah yang memadai, daya beli mereka meningkat, yang pada akhirnya mendorong pertumbuhan ekonomi secara keseluruhan. Oleh karena itu, perlindungan hak-hak pekerja menjadi elemen penting dalam menciptakan ekosistem ketenagakerjaan yang seimbang.

### C. Perusahaan

Perusahaan adalah entitas usaha yang bergerak di sektor produksi barang atau jasa dengan tujuan mendapatkan keuntungan. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023, perusahaan memiliki kewajiban untuk mematuhi peraturan ketenagakerjaan, termasuk pembayaran upah minimum yang ditetapkan oleh pemerintah. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa pekerja mendapatkan kompensasi yang layak atas kontribusi mereka.

Selain itu, perusahaan wajib memberikan pesangon jika terjadi PHK, sesuai dengan ketentuan dalam UU Cipta Kerja. Pesangon dan uang penghargaan masa kerja ditentukan berdasarkan masa kerja dan upah bulanan pekerja. Ketidakpatuhan terhadap kewajiban ini dapat mengakibatkan sanksi administratif hingga pidana, sebagaimana diatur dalam peraturan tersebut.

Namun, tantangan yang dihadapi perusahaan dalam menerapkan upah minimum meliputi kemampuan finansial, tingkat produktivitas, dan persaingan pasar. Dengan demikian, penting untuk menciptakan keseimbangan antara perlindungan pekerja dan keberlanjutan bisnis dalam ekosistem ketenagakerjaan.

### D. Inflasi

Inflasi adalah kenaikan harga barang dan jasa secara umum yang mengurangi daya beli uang. Inflasi diukur menggunakan Indeks Harga Konsumen (IHK), yang mencerminkan perubahan harga barang dan jasa utama di pasar. Dalam konteks UMR, inflasi merupakan salah satu faktor kunci yang digunakan untuk menyesuaikan upah minimum setiap tahun. Inflasi yang tinggi dapat meningkatkan biaya hidup pekerja, sehingga mendorong perlunya penyesuaian UMR untuk mempertahankan daya beli mereka.

### E. Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)

Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) adalah total nilai barang dan jasa yang dihasilkan oleh suatu wilayah dalam periode tertentu. PDRB dihitung dalam harga konstan atau harga berlaku, dan sering digunakan sebagai indikator kesejahteraan ekonomi suatu daerah. Dalam penetapan UMR, PDRB per kapita mencerminkan kapasitas ekonomi regional untuk mendukung kenaikan upah minimum. Wilayah dengan PDRB tinggi cenderung memiliki UMR yang lebih tinggi untuk mencerminkan daya beli masyarakatnya.

### F. Produk Domestik Bruto (PDB)

Produk Domestik Bruto (PDB) adalah total nilai barang dan jasa yang dihasilkan oleh suatu negara dalam periode tertentu. PDB per pekerja digunakan sebagai indikator produktivitas tenaga kerja, yang mencerminkan efisiensi dalam menghasilkan output ekonomi. Dalam konteks UMR, produktivitas yang tinggi memungkinkan perusahaan untuk memenuhi standar upah minimum tanpa mengorbankan keberlanjutan bisnis. Rumus perhitungan produktivitas adalah:

$$PDB \text{ per Pekerja} = \frac{PDB}{\text{Jumlah Tenaga Kerja}}$$

Produktivitas ini menjadi acuan penting dalam menilai keseimbangan antara kebutuhan pekerja dan kemampuan perusahaan.

### G. Upah Minimum Regional (UMR)

UMR adalah standar upah minimum yang ditetapkan oleh pemerintah daerah untuk menjamin kehidupan layak bagi pekerja. UMR dihitung berdasarkan formula yang diatur dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 51 Tahun 2023. Formula baru ini mempertimbangkan beberapa indikator utama:

- **Inflasi:** Mengacu pada Indeks Harga Konsumen (IHK), yang mencerminkan perubahan harga barang dan jasa.
- **Pertumbuhan Ekonomi (PE):** Diukur berdasarkan perubahan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) harga konstan.
- **Indeks Kontribusi Tenaga Kerja ( $\alpha$ ):** Nilai  $\alpha$  berada dalam rentang 0,10 hingga 0,30, yang dipengaruhi oleh tingkat penyerapan tenaga kerja dan median upah. Nilai  $\alpha$  ditentukan oleh dewan pengupahan provinsi atau kabupaten/kota dengan mempertimbangkan:
  - Tingkat penyerapan tenaga kerja.
  - Rata-rata atau median upah.
  - Faktor lain yang relevan dengan kondisi ketenagakerjaan.

Formula penghitungan UMR diberikan sebagai berikut:

$$UMR_{t+1} = UMR_t + \text{Nilai Penyesuaian UMR}$$

$$\text{Nilai Penyesuaian UMR} = (\text{Inflasi} + (\text{PE} \cdot \alpha)) \cdot UMR_t$$

dengan  $t$  menyatakan sebuah tahun.

Jika nilai penyesuaian UMR lebih kecil atau sama dengan nol, maka UMR tahun berjalan tetap digunakan tanpa perubahan.

Jenis-jenis upah minimum meliputi:

- **UMK (Upah Minimum Kabupaten/Kota):** Ditentukan berdasarkan kondisi ekonomi dan daya beli di tingkat kabupaten/kota.
- **UMP (Upah Minimum Provinsi):** Berlaku di seluruh wilayah provinsi dan menjadi acuan untuk penetapan UMK.

### III. METODOLOGI

#### A. Model Penelitian

Penelitian ini menggunakan teori graf untuk memodelkan hubungan antara faktor-faktor yang memengaruhi Upah Minimum Regional (UMR). Graf berbobot digunakan untuk merepresentasikan intensitas hubungan antar faktor, dengan simpul merepresentasikan faktor utama dan sisi berbobot merepresentasikan pengaruh antar faktor. *Minimum Spanning Tree* (MST) digunakan untuk menentukan jalur optimal dalam menganalisis hubungan ini, dengan tujuan meminimalkan total bobot hubungan antar faktor.

#### B. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari lembaga resmi seperti Badan Pusat Statistik (BPS) dan Kementerian Ketenagakerjaan. Data yang dikumpulkan meliputi:

- Inflasi tahunan (dari laporan IHK BPS).
- PDRB per kapita per provinsi (dari laporan Statistik Ekonomi Regional BPS).
- PDB nasional (dari laporan Statistik Nasional BPS).
- Tingkat pengangguran terbuka (dari laporan Sakernas BPS).
- Median upah pekerja (dari laporan ketenagakerjaan BPS).

Data yang diperoleh mencakup data pada lima tahun (2019-2023) karena kelengkapan data yang ada pada tahun-tahun tersebut serta untuk menjamin relevansi penelitian.

#### C. Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan akan melalui langkah-langkah pengolahan sebagai berikut:

- 1) **Normalisasi Data:** Data dinormalisasi dengan metode *Z-Score Normalization*, yakni metode normalisasi menggunakan mean dan standar deviasi, untuk memastikan konsistensi skala dan memudahkan perhitungan bobot graf. Metode normalisasi ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Dengan:

- $z$  : Hasil normalisasi
- $x$  : Data asli
- $\mu$  : Mean dari *dataset*
- $\sigma$  : Standar deviasi dari *dataset*

- 2) **Perhitungan Matriks Bobot:** Hubungan antar faktor dianalisis dan diberi bobot berdasarkan elastisitas atau korelasi kuantitatif. Korelasi ini dihitung dengan korelasi Pearson dengan asumsi bahwa setiap faktor mempunyai hubungan linear. Korelasi Pearson dapat dituliskan:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Yakni:

- $r$ : Konstanta korelasi Pearson.
- $x_i$ : Nilai individu dari variabel  $x$ .

- $y_i$ : Nilai individu dari variabel  $y$ .
- $\bar{x}$ : Rata-rata dari semua nilai  $x_i$ .
- $\bar{y}$ : Rata-rata dari semua nilai  $y_i$ .

- 3) **Representasi Graf:** Faktor-faktor utama direpresentasikan sebagai simpul, sedangkan hubungan antar faktor direpresentasikan sebagai sisi berbobot.

#### D. Analisis Graf dan MST-Nya

Graf yang telah dibangun akan dianalisis menggunakan algoritma *Minimum Spanning Tree* (MST) untuk menemukan jalur optimal antar faktor. Algoritma yang digunakan adalah *Prim's Algorithm*, yang dipilih karena efisiensinya dalam menghitung MST pada graf berbobot.

### IV. PENGOLAHAN DATA

#### A. Deskripsi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sumber resmi seperti BPS. Data ini mencakup tahun 2019 hingga 2024 untuk memberikan fokus pada analisis terkini.

1) *Inflasi:* Data inflasi tahunan diukur menggunakan Indeks Harga Konsumen (IHK), yang mencerminkan perubahan harga barang dan jasa. Inflasi diperhitungkan karena memiliki dampak langsung pada daya beli pekerja dan kebutuhan penyesuaian UMR. Berikut adalah data inflasi dari 2019-2023.

TABEL I: Tingkat Inflasi Tahunan Indonesia (2019-2023) (<https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/OTA4IzE>)

Tahun	Inflasi (%)
2019	2.72
2020	1.68
2021	1.87
2022	5.51
2023	2.61

2) *Produk Domestik Regional Bruto (PDRB):* PDRB per kapita digunakan untuk mencerminkan kapasitas ekonomi setiap provinsi dalam mendukung kenaikan UMR. Tabel di bawah menunjukkan data PDRB per kapita yang telah di rata-rata dari BPS.

TABEL II: Rata-rata PDRB per Kapita Indonesia (2019-2023) (<https://www.bps.go.id/id/publication/2024/04/30/9385278595f148282c3d1051/produk-domestik-regional-bruto-provinsi-provinsi-di-indonesia-menurut-pengeluaran-2019-2023.html>)

Tahun	PDRB per Kapita (Ribu Rupiah)
2019	59.107,89
2020	57.812,48
2021	62.237,89
2022	71.043,44
2023	74.964,70

3) *Produk Domestik Bruto (PDB):* PDB nasional digunakan untuk menghitung produktivitas tenaga kerja. Produktivitas ini dihitung dengan membagi PDB dengan jumlah tenaga kerja di tingkat nasional. Berikut adalah data dari produktivitas dalam kurun lima tahun terakhir.

TABEL III: PDB, Jumlah Pekerja, dan PDB per Pekerja di Indonesia (2019-2023) (<https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/Mjg4IzI>)

Tahun	PDB (Triliun Rupiah)	Jumlah Pekerja (Juta Orang)	PDB per Pekerja (Juta Rupiah)
2019	15.833,9	129,36	122,4
2020	15.434,2	128,45	120,1
2021	16.970,8	131,05	129,5
2022	18.636,7	135,61	137,4
2023	19.588,0	140,00	139,2

4) *Tingkat Pengangguran Terbuka*: Tingkat pengangguran terbuka (TPT) mencerminkan persentase angkatan kerja yang belum mendapatkan pekerjaan. Data di bawah menunjukkan persentase tingkat pengangguran rata-rata di Indonesia.

TABEL IV: Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) di Indonesia (2019-2023) (<https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTUyMSMy/tingkat-pengangguran-terbuka.html>)

Tahun	Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) (%)
2019	5,28
2020	7,07
2021	6,49
2022	5,86
2023	5,32

5) *Median Upah*: Median upah digunakan untuk menggambarkan distribusi pendapatan tenaga kerja. Data yang tersedia hanya dapat ditemukan di BPS yang terdiri dari data rata-rata upah per sektor (pada bulan Februari dan Agustus). Oleh karena itu, untuk mengambil median dari tiap tahunnya, akan diambil pendekatan sebagai berikut.

- 1) Rata-ratakan upah pada bulan Februari dan Agustus, masing-masing per sektor.
- 2) Ambil median tiap tahunnya dari seluruh sektor.

Berikut merupakan algoritma yang dapat digunakan untuk mengolah data tersebut, menggunakan Python dengan bantuan Library "csv" untuk mem-parsing data.

```

1 import csv
2
3 for year in range(2019, 2024):
4     data = []
5     # Read CSV file
6     with open(f'Rata-Rata Upah_Gaji_{year}.csv') as csv_file:
7         csv_reader = csv.reader(csv_file, delimiter=",")
8         for i, row in enumerate(csv_reader):
9             # Skip header and average row
10            if i > 3 and i < 21:
11                row_mean = (int(row[1]) + int(row[2]))/2
12                data.append(row_mean)
13
14            # Sort the data
15            data.sort()
16
17            # Calculate median
18            if len(data) % 2 == 0:
19                median = (data[len(data)//2] + data[len(data)//2 - 1])/2
20            else:
21                median = data[len(data)//2]
22
23            median = f"Rp{median:,.2f}".replace(',', '.').replace('.', '00', '00')
24            print(f"Median Upah di Tahun {year}: {median}")

```

Gambar 6: Penghitungan Median (Dokumentasi Penulis)

Luaran dari algoritma ini disajikan dalam Tabel V.

TABEL V: Median Upah di Indonesia (2019-2023) (Dokumentasi Penulis)

Tahun	Median Upah (Rupiah)
2019	3.362.435
2020	3.317.490
2021	3.140.168
2022	3.496.222
2023	3.613.930

Data-data ini akan digunakan untuk membangun graf berbobot yang merepresentasikan hubungan antar faktor. Setiap bobot dihitung berdasarkan hubungan kuantitatif antar variabel, seperti dampak inflasi terhadap daya beli atau hubungan antara produktivitas pekerja dan median upah.

**B. Proses Pengolahan Data**

Data yang telah diperoleh akan diolah untuk pembangunan matriks bobot dalam graf. Setiap bobot merepresentasikan hubungan kuantitatif antar faktor. Proses pengolahan dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- 1) **Normalisasi Data**: Data yang berasal dari berbagai sumber dengan skala yang berbeda dinormalisasi untuk memudahkan komparasi para faktor. Pada normalisasi ini, metode yang digunakan adalah *Z-Score Normalization*. Normalisasi dilakukan dengan membangun algoritma yang menghasilkan nilai dari *Z-score normalization* dengan bantuan Library NumPy di Python.

```

1 def zscore(data):
2     mean = np.mean(data)
3     std = np.std(data)
4     return (data - mean) / std

```

Gambar 7: Normalisasi Z-Score (Dokumentasi Penulis).

TABEL VI: Rata-rata dan Deviasi Standar untuk Setiap Faktor (2019-2023) (Dokumentasi Penulis)

Faktor	Rata-rata ( $\mu$ )	Deviasi Standar ( $\sigma$ )
Inflasi (%)	2.878	1,38
PDRB per Kapita	65.033,2	6.779,7
PDB per Pekerja	129,72	7,68
TPT (%)	6,00	0,69
Median Upah (Rp)	3.386.049	161.110,7

TABEL VII: Hasil Normalisasi Z-Score untuk Faktor-Faktor UMR (2019-2023) (Dokumentasi Penulis)

Tahun	Inflasi (z)	PDRB per Kapita (z)	PDB (z)	TPT (z)	Median Upah (z)
2019	-0,115	-0,874	-0,953	-1,048	-0,147
2020	-0,870	-1,065	-1,252	1,543	-0,426
2021	-0,732	-0,412	-0,029	0,704	-1,526
2022	1,912	0,886	1,000	-0,208	0,684
2023	-0,195	1,465	1,234	-0,990	1,414

2) **Perhitungan Matriks Bobot:** Hubungan antar faktor dianalisis dan diberi bobot berdasarkan data kuantitatif yang tersedia. Kita dapat menggunakan Library NumPy untuk menghitung korelasi Pearson.

```
# Calculate correlation matrix
correlation_matrix = np.corrcoef(data_matrix)
```

Gambar 8: Korelasi Pearson (Dokumentasi Penulis)

Hasilnya adalah matriks Pearson seperti pada Gambar 9.

Matriks Korelasi Pearson:	Inflasi	PDRB	PDB	TPT	Median Upah
Inflasi	1.000	0.548	0.578	-0.389	0.507
PDRB	0.548	1.000	0.975	-0.531	0.778
PDB	0.578	0.975	1.000	-0.477	0.629
TPT	-0.389	-0.531	-0.477	1.000	-0.624
Median Upah	0.507	0.778	0.629	-0.624	1.000

Gambar 9: Matriks Pearson dari Faktor-Faktor UMR (Dokumentasi Penulis)

Elemen dari matriks Pearson selalu bernilai  $|x| \leq 1$ . Untuk saat ini, matriks Pearson belum dapat diubah langsung ke matriks *Adjacency* untuk ditinjau lebih lanjut menjadi *Minimum Spanning Tree*. Untuk mengatasi hal ini, kita dapat membuat matriks *Adjacency* baru dengan elemen:

$$x_{ij} = 1 - |r_{ij}|$$

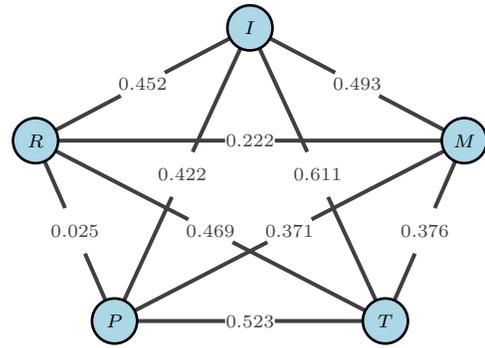
Hal ini karena kita akan lebih fokus ke keterhubungan antara faktor, bukan kausalitasnya, sehingga tanda minus tidak menjadi masalah. Berikut matriks *Adjacency* yang akan digunakan untuk pengolahan graf (urutan baris dan kolom tetap sama seperti Gambar 9).

$$A = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.452 & 0.422 & 0.611 & 0.493 \\ 0.452 & 0.000 & 0.025 & 0.469 & 0.222 \\ 0.422 & 0.025 & 0.000 & 0.523 & 0.371 \\ 0.611 & 0.469 & 0.523 & 0.000 & 0.376 \\ 0.493 & 0.222 & 0.371 & 0.376 & 0.000 \end{bmatrix}$$

3) **Representasi Graf:** Faktor-faktor utama direpresentasikan sebagai simpul, sementara hubungan antar faktor direpresentasikan sebagai sisi berbobot. Sehingga, diperoleh simpul-simpul sebagai berikut.

- Simpul I: Merepresentasikan Inflasi.
- Simpul R: Merepresentasikan PDRB per Kapita.
- Simpul P: Merepresentasikan PDB per Pekerja.
- Simpul T: Merepresentasikan TPT.
- Simpul M: Merepresentasikan Median Upah.

Misalkan Graf *U* adalah graf faktor-faktor UMR, maka graf tersebut dapat direpresentasikan seperti pada gambar 10.



Gambar 10: Representasi Graf *U* dari Faktor-Faktor UMR (Dokumentasi Penulis)

### C. Penelahaan Dengan Algoritma Prim

Setelah graf berhasil dibangun, keterkaitan optimal dapat dicari dengan *Minimum Spanning Tree*. Penggunaan Algoritma Prim diimplementasikan pada kode Python di bawah ini.

```
import numpy as np

def prims_algorithm(adjacency_matrix):
    num_nodes = len(adjacency_matrix)

    # Simpul awal dengan sisi bobot minimum
    min_edge = (None, None, float('inf')) # Format Tuple: (simpul1, simpul2, bobot)
    for i in range(num_nodes):
        for j in range(num_nodes):
            if adjacency_matrix[i][j] > 0 and adjacency_matrix[i][j] < min_edge[2]:
                min_edge = (i, j, adjacency_matrix[i][j])

    start_node = min_edge[0] # Pilih simpul awal
    selected_nodes = [False] * num_nodes
    selected_nodes[start_node] = True # Tandai simpul awal sebagai sudah dipilih

    mst_edges = [] # Menyimpan sisi dalam MST
    total_cost = 0 # Menyimpan total bobot MST

    for _ in range(num_nodes - 1): # MST memiliki (n-simpul-1) sisi
        min_edge = (None, None, float('inf')) # Reset edge terbaik

        for i in range(num_nodes):
            if selected_nodes[i]: # Simpul i sudah dalam MST
                for j in range(num_nodes):
                    if not selected_nodes[j] and adjacency_matrix[i][j] > 0:
                        if adjacency_matrix[i][j] < min_edge[2]:
                            min_edge = (i, j, adjacency_matrix[i][j])

        # Tambahkan sisi dengan bobot terkecil ke MST
        mst_edges.append((min_edge[0], min_edge[1], min_edge[2]))
        total_cost += min_edge[2]
        selected_nodes[min_edge[1]] = True # Tandai simpul j sebagai telah dipilih

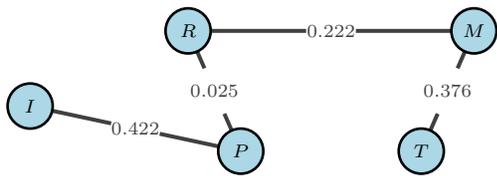
    # Ulangi hingga semua simpul telah dipilih
    return mst_edges, total_cost
```

Gambar 11: Algoritma Prim Pada Python (Dokumentasi Penulis)

Dengan memasukkan matriks *A* sebagai input untuk kode di atas, diperoleh hasil dan pemodelan seperti berikut.

```
(reLetz@LAPTOP-FOVKVIB)
$ python3 prim.py
R - P (0.025)
R - M (0.222)
M - T (0.376)
P - I (0.422)
Total Cost of MST: 1.045
```

Gambar 12: Hasil MST Dari Algoritma Prim (Dokumentasi Penulis)



Gambar 13: Representasi Graf  $U$  dari Faktor-Faktor UMR (Dokumentasi Penulis)

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Graf Awal dan Kompleksitas Hubungan Antar Faktor

Graf awal dibangun berdasarkan matriks bobot yang dihitung dari nilai korelasi Pearson antar faktor. Graf ini merepresentasikan semua hubungan yang ada antara faktor-faktor utama yang memengaruhi UMR, dengan bobot sisi merefleksikan kekuatan hubungan antar faktor.

Gambar 10 menunjukkan graf awal yang terdiri dari lima simpul (Inflasi, PDRB per Kapita, PDB per Pekerja, TPT, dan Median Upah) dan semua sisi yang menghubungkan setiap pasangan simpul.

Graf awal ini memiliki **10 sisi** yang menghubungkan kelima simpul, mencerminkan seluruh hubungan yang mungkin antara faktor-faktor tersebut. Bobot sisi yang kecil menunjukkan hubungan yang kuat, sedangkan bobot besar menunjukkan hubungan yang lebih lemah.

Namun, graf awal ini memiliki kompleksitas tinggi, sehingga sulit untuk langsung mengidentifikasi hubungan utama antar faktor. Oleh karena itu, diterapkan algoritma *Minimum Spanning Tree* (MST) untuk menyederhanakan graf menjadi hubungan-hubungan terpenting.

### B. Interpretasi Hasil MST

Hasil MST menggambarkan hubungan utama faktor-faktor yang memengaruhi UMR:

- 1) **Hubungan Dominan:** Sisi  $R \leftrightarrow P$  (PDRB per Kapita ke PDB per Pekerja) memiliki bobot terkecil (0.025), menunjukkan bahwa hubungan antara kedua faktor ini sangat erat. Hal ini mengindikasikan bahwa produktivitas tenaga kerja sangat berkorelasi tinggi dengan kapasitas ekonomi wilayah.
- 2) **Jalur Optimal:** MST mengidentifikasi jalur optimal tanpa siklus untuk memahami hubungan antar faktor. Jalur dari  $PDRB \rightarrow Median Upah \rightarrow TPT$  menunjukkan bahwa tingkat kesejahteraan ekonomi akan berpengaruh terhadap daya beli pekerja dan tingkat pengangguran, ataupun sebaliknya.
- 3) **Faktor Dominan:** Simpul **PDRB (R)** terhubung dengan dua sisi yang merupakan dua sisi dengan bobot terkecil pada MST, menunjukkan bahwa kapasitas ekonomi wilayah memainkan peran penting dalam sistem UMR. PDRB menjadi indikator utama yang memengaruhi faktor lain seperti produktivitas pekerja dan median upah.

### C. Implikasi Terhadap Penentuan UMR

Dari hasil MST, terdapat beberapa poin penting yang dapat digunakan sebagai panduan dalam menetapkan UMR:

- **Kebijakan Berbasis PDRB:** PDRB sebagai faktor dominan menunjukkan bahwa pemerintah perlu memastikan pertumbuhan ekonomi wilayah yang merata untuk mendukung penyesuaian UMR yang adil.
- **Peningkatan Produktivitas:** Hubungan kuat antara PDRB dan PDB per Pekerja menunjukkan bahwa peningkatan produktivitas tenaga kerja dapat menjadi salah satu strategi untuk menyesuaikan UMR tanpa membebani perusahaan secara berlebihan.
- **Perhatian pada Median Upah:** Median upah yang terhubung dengan tingkat pengangguran (TPT) menunjukkan bahwa kebijakan UMR perlu mempertimbangkan daya beli pekerja sekaligus menjaga tingkat penyerapan tenaga kerja.

### D. Diskusi

MST memberikan kerangka yang jelas untuk memahami hubungan antar faktor utama yang memengaruhi UMR. Namun, hasil ini perlu dilengkapi dengan analisis lebih lanjut, seperti pengaruh temporal (perubahan antar tahun) atau analisis per wilayah. Selain itu, kebijakan UMR perlu disesuaikan dengan karakteristik regional untuk menghindari kesenjangan ekonomi antar wilayah.

Meskipun bobot hubungan dalam MST memberikan gambaran umum, faktor-faktor eksternal seperti perubahan kebijakan pemerintah dan kondisi pasar global juga perlu dipertimbangkan dalam implementasi UMR di tingkat praktis.

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

- 1) Penelitian ini berhasil mengembangkan model berbasis teori graf untuk menganalisis dan mengoptimalkan penetapan Upah Minimum Regional (UMR). Dengan menggunakan matriks korelasi Pearson untuk membangun graf awal yang merepresentasikan hubungan antar faktor, serta algoritma Minimum Spanning Tree (MST) untuk menyederhanakan hubungan menjadi jalur optimal, model ini mampu mengidentifikasi hubungan utama antar faktor. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor PDRB per Kapita, PDB per Pekerja, Median Upah, Inflasi, dan Tingkat Pengangguran saling berkaitan dalam memengaruhi UMR, dengan PDRB menjadi simpul dominan dalam sistem, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.
- 2) Dengan MST sebagai alat utama, solusi optimal yang menyeimbangkan kebutuhan pekerja dan kemampuan perusahaan berhasil diidentifikasi. MST memprioritaskan hubungan antar faktor dengan bobot terkecil, seperti hubungan antara PDRB per Kapita dan PDB per Pekerja, yang menunjukkan pentingnya produktivitas dalam mendukung kapasitas ekonomi perusahaan. Selain

itu, hubungan antara Median Upah dan Tingkat Pengangguran memberikan wawasan tentang perlunya menjaga daya beli pekerja sambil mempertahankan tingkat penyerapan tenaga kerja. Pendekatan ini membantu menemukan jalur penyesuaian UMR yang paling relevan tanpa membebani perusahaan secara berlebihan.

3) Berdasarkan hasil analisis, beberapa rekomendasi dapat diberikan untuk meningkatkan efektivitas penetapan UMR di Indonesia:

- **Kebijakan Berbasis Data:** Pembuat kebijakan disarankan untuk menggunakan model graf ini sebagai alat pendukung keputusan, dengan fokus pada hubungan antar faktor yang diidentifikasi dalam MST. Misalnya, memprioritaskan wilayah dengan PDRB rendah untuk mendapatkan dukungan tambahan dalam penyesuaian UMR.
- **Peningkatan Produktivitas:** Hasil menunjukkan bahwa produktivitas tenaga kerja memainkan peran penting dalam sistem UMR. Oleh karena itu, pemerintah perlu mendorong pelatihan dan pengembangan keterampilan untuk meningkatkan efisiensi tenaga kerja.
- **Keseimbangan Regional:** Perbedaan antar wilayah dalam PDRB per Kapita dan Median Upah menunjukkan perlunya pendekatan berbasis wilayah yang lebih spesifik untuk mengurangi kesenjangan ekonomi.

Dengan menerapkan rekomendasi ini, kebijakan UMR diharapkan dapat menjadi lebih adil dan efektif dalam mendukung kesejahteraan pekerja serta keberlanjutan bisnis perusahaan.

## B. Saran

- 1) Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan dataset yang lebih luas, mencakup data per wilayah di tingkat kabupaten/kota. Selain itu, penambahan faktor lain seperti biaya operasional perusahaan atau kebijakan insentif pemerintah dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang faktor-faktor yang memengaruhi UMR.
- 2) Model yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat ditingkatkan dengan menggunakan metode optimasi lain, seperti analisis jaringan kompleks atau pendekatan *machine learning*, untuk memvalidasi dan memperkuat hasil yang diperoleh dari MST. Selain itu, penggunaan data *time-series* dapat membantu menganalisis tren perubahan hubungan antar faktor dari waktu ke waktu.
- 3) Pemerintah disarankan untuk menggunakan hasil penelitian ini sebagai dasar untuk menetapkan kebijakan UMR yang lebih berbasis data. Dengan memprioritaskan wilayah dengan tingkat PDRB rendah dan median upah yang tidak sebanding dengan inflasi, kebijakan yang diambil dapat lebih adil dan efektif. Selain itu, program peningkatan produktivitas tenaga kerja melalui pelatihan dapat menjadi langkah strategis untuk mendukung keberlanjutan sistem UMR.

## REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik. (2023). *Produk Domestik Regional Bruto Per Kapita (Ribu Rupiah)*. Diakses pada 5 Januari 2025, dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/Mjg4IzI>
- [2] Badan Pusat Statistik. (2023). *Headline, Core, Administered Price, and Volatile Good Inflation of Indonesia (2009–2023)*. Diakses pada 5 Januari 2025, dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/OTA4IzE>
- [3] Badan Pusat Statistik. (2024). *Produk Domestik Regional Bruto Provinsi-provinsi di Indonesia Menurut Pengeluaran (2019–2023)*. Diakses pada 5 Januari 2025, dari <https://www.bps.go.id/id/publication/2024/04/30/9385278595f148282c3d1051/produk-domestik-regional-bruto-provinsi-provinsi-di-indonesia-menurut-pengeluaran-2019-2023.html>.
- [4] Badan Pusat Statistik. (2023). *Rata-rata Upah/Gaji*. Diakses pada 5 Januari 2025, dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTUyMSMy/rata-rata-upah-gaji.html>.
- [5] Badan Pusat Statistik. (2023). *Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT)*. Diakses pada 5 Januari 2025, dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTUyMSMy/tingkat-pengangguran-terbuka.html>.
- [6] Munir, R. (2024). *Mata Kuliah Matematika Diskrit 2024–2025*. Diakses pada 4 Januari 2025, dari <https://informatika.stei.itb.ac.id/rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/matdis24-25.htm>.
- [7] Pemerintah Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Pemerintah No. 51 Tahun 2023 tentang Penetapan Upah Minimum*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- [8] Pemerintah Republik Indonesia. (2023). *Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Cipta Kerja*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan syukur dan terima kasih kepada Allah SWT. atas nikmat sehat yang diberikan. Tanpanya, pengerjaan makalah ini tidak akan maksimal. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pak Arrival Dwi Sentosa, S.Kom., M.T. dan Pak Dr. Ir. Rinaldi Munir, M.T., yang telah memberikan berbagai khazanah ilmu selama perkuliahan Matematika Diskrit. Tak lupa, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman yang telah mendorong terselesaikannya makalah ini, terutama Kimberly Mahdiya Khairunisa yang telah menyemangati penulis, dan Hasri Fayadh Muqaffa, yang telah menemani penulis untuk mengerjakan makalah ini di Ayamayaman, Dago. Penulis berharap makalah ini dapat bermanfaat, baik untuk penulis, pemerintah, maupun masyarakat luas.

## LAMPIRAN

Algoritma pengolahan data dapat dibuka pada GitHub berikut. <https://github.com/reletz/AlgoMakalahMatdis>

## 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



Naufarrel Zhafif Abhista  
13523149  
6 Januari 2025