

Arsitektur Sekuensial Lanjut: CNN-1D, Seq2Seq, & Attention

Temporal Convolutional Networks, Encoder-Decoder, dan Pengenalan Transformer

Ir. Novalio Daratha, S.T., M.Sc., Ph.D.

Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik
Universitas Bengkulu

Minggu 12 / Semester Ganjil 2026

Agenda Perkuliahan Minggu ke-12

Capaian Pembelajaran (Sub-CPMK 11)

Mahasiswa mampu merancang arsitektur Temporal Convolutional Network (1D-CNN), menerapkan model Encoder-Decoder (Seq2Seq) untuk peramalan multi-step, serta memahami mekanisme Self-Attention dan arsitektur Transformer dasar.

- ➊ 1D-CNN untuk Ekstraksi Fitur Temporal
- ➋ Causal Convolutions & Dilated Convolutions
- ➌ Arsitektur Encoder-Decoder (Seq2Seq)
- ➍ Prinsip Dasar Self-Attention Mechanism
- ➎ Pengenalan Transformer Deret Waktu (Informer / PatchTST)
- ➏ Studi Kasus: Peramalan Profil Tegangan Multi-Bus

1D Convolutional Neural Network (1D-CNN)

Mengekstraksi pola gelombang dan bentuk fitur (*shapelets*) lokal sinyal secara paralel:

Operasi Konvolusi 1D Temporal

$$y[t] = (x * w)[t] = \sum_{k=-K}^K x[t - k] \cdot w[k] \quad (1)$$

Causal Convolution: Memastikan filter konvolusi pada langkah waktu t hanya melihat masa lalu $(t, t - 1, \dots)$ tanpa membocorkan masa depan.

Dilated Convolution: Memperluas area pandang (*receptive field*) secara eksponensial $(d = 1, 2, 4, 8, \dots)$ tanpa menambah parameter bobot.

Arsitektur Encoder-Decoder (Seq2Seq)

Standar industri untuk peramalan multi-cakrawala (*Multi-Horizon Forecasting*):

1. Encoder Network

Membaca deret waktu histori input $(x_1, x_2, \dots, x_{T_{in}})$ dan memadatkannya menjadi satu representasi vektor konteks (*Context Vector C*).

2. Decoder Network

Mengurai vektor konteks C secara berulang untuk membangkitkan lintasan peramalan masa depan $(\hat{y}_{T+1}, \hat{y}_{T+2}, \dots, \hat{y}_{T+T_{out}})$.

Bottleneck Konteks

Jika rentang input sangat panjang, satu vektor konteks C tunggal tidak sanggup menampung seluruh detail fluktuasi → Membutuhkan **Attention Mechanism**!

Mekanisme Self-Attention & Transformer

Mengizinkan setiap langkah waktu berinteraksi langsung dengan langkah waktu lain:

Formula Scaled Dot-Product Attention

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax} \left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} \right) V \quad (2)$$

Q (Query), K (Key), dan V (Value) adalah proyeksi linier dari deret waktu input.

Keunggulan Utama Transformer:

- Paralelisasi pelatihan penuh (bukan rekursif sekuensial).
- Mampu menangkap dependensi ribuan langkah waktu (*long-range interactions*).

Model Terkini (2024–2026): *PatchTST*, *Informer*, dan *iTransformer* untuk peramalan grid pintar skala benua.

Implementasi PyTorch: 1D-CNN Temporal Forecaster

```
import torch
import torch.nn as nn

class TemporalCNN(nn.Module):
    def __init__(self, in_channels=1, num_filters=32, kernel_size=3, pred_steps=24):
        super(TemporalCNN, self).__init__()
        self.conv1 = nn.Conv1d(in_channels, num_filters, kernel_size=kernel_size, padding=1)
        self.relu = nn.ReLU()
        self.conv2 = nn.Conv1d(num_filters, num_filters*2, kernel_size=kernel_size, padding=1)
        self.pool = nn.AdaptiveAvgPool1d(1)
        self.fc = nn.Linear(num_filters*2, pred_steps)

    def forward(self, x):
        # x shape: (batch_size, in_channels, seq_len)
        x = self.relu(self.conv1(x))
        x = self.relu(self.conv2(x))
        x = self.pool(x).squeeze(-1)
        out = self.fc(x)
        return out
```

Rangkuman & Persiapan Minggu ke-13

Poin Kunci Minggu 12

- 1D-CNN sangat efisien mengekstraksi bentuk gelombang lokal dan sangat cepat dilatih.
- Seq2Seq menyediakan kerangka peramalan multi-langkah (*multi-horizon*) yang fleksibel.
- Mekanisme Attention memungkinkan model berfokus pada kejadian kritis di masa lalu (misal lonjakan beban puncak kemarin).

Materi Minggu Depan (Minggu ke-13)

Deteksi Anomali Sistem Kelistrikan: Deteksi pencurian listrik, kegagalan sensor meter pintar, dan anjloknya tegangan menggunakan Isolation Forest dan LSTM Autoencoder.

Terima Kasih

Pertanyaan & Diskusi Arsitektur Sekuensial Lanjut

Laboratorium Sistem Tenaga & Komputasi Cerdas
Jurusan Teknik Elektro – Universitas Bengkulu