

**APROKSIMASI SOLUSI *PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS* DENGAN
*PHYSICS-INFORMED SUPPORT VECTOR MACHINE***

A RESEARCH PAPER

Submitted as partial fulfillment of the requirements for
Sarjana Komputer Degree



By
Ahmad Izzuddin
1908919

**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
FAKULTAS PENDIDIAKN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2024**

ABSTRAK

JUDUL ABSTRAK

Oleh

Ahmad Izzuddin

NIM: 1908919

Abstrak merupakan penjelasan singkat dan padat tentang pekerjaan dan hasil penelitian TA, yang dituliskan secara teknis. Abstrak memiliki karakter tegas dan komprehensif, dan hanya dapat dituliskan setelah pekerjaan penelitian telah mencapai tahap tertentu, dan karenanya ada hasil penelitian yang dapat dilaporkan. Abstrak ditulis menjelang akhir penyelesaian penulisan buku TA.

Secara umum, abstrak memuat beberapa komponen penting, yaitu: konteks atau cakupan pekerjaan penelitian, tujuan penelitian, metodologi yang digunakan selama penelitian, hasil-hasil penting yang dapat ditambahkan dengan implikasinya, dan simpulan dari penelitian. Dengan demikian, suatu abstrak tidak dapat dituliskan apabila penelitian belum mencapai hasil tertentu, apalagi kalau penelitiannya pun belum dilakukan.

Panjang abstrak sebaiknya dicukupkan dalam satu halaman, termasuk kata kunci. Tiga kata kunci dipandang cukup, yang masing-masingnya memuat paduan kata utama, yang dapat merepresentasikan isi Abstrak. Halaman Abstrak tidak memuat informasi judul dan penulis, sehingga tidak secara langsung dapat digunakan sebagai lembaran Abstrak Sidang TA yang disediakan untuk hadirin, yang memerlukan tambahan (sekurangnya) dua informasi tersebut.

Kata kunci: Konsep Abstrak, Komponen Abstrak, Kata Kunci.

ABSTRACT

TITLE

by

Ahmad Izzuddin

NIM: 1908919

In general, Abstract is a translation of Abstrak. However, appropriate paraphrase may need some words or sentences whose meanings are close enough to those written in Abstrak.

Key words: Abstract Concepts, Abstract Components, Key Words.

PENGESAHAN

APROKSIMASI SOLUSI PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS DENGAN PHYSICS-INFORMED SUPPORT VECTOR MACHINE

Oleh

Ahmad Izzuddin

NIM 1908919

Program studi Sarjana Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui

Bandung, April 23, 2024

Dosen Pembimbing,

Prof. Dr. Lala Septem Riza, M.T.

NIP. 197809262008121001

Tim Penguji:

1. Nama Penguji 1
2. Nama Penguji 2

PEDOMAN PENGGUNAAN BUKU TUGAS AKHIR

Buku Tugas Akhir Sarjana ini tidak dipublikasikan, namun terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Institut Teknologi Bandung. Buku ini dapat diakses umum, dengan ketentuan bahwa penulis memiliki hak cipta dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Institut Teknologi Bandung. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis, dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh buku Tugas Akhir harus atas izin Program Studi Sarjana Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung.

*Tugas Akhir ini dipersembahkan untuk
Tuhan, Bangsa, dan Almamater*

KATA PENGANTAR

Kata pengantar berperan sebagai gerbang masuk bagi pembaca dan mendapat sajian ringkas tentang hal-hal terkait paparan pada buku Tugas Akhir (TA). Sajian ini sejatinya merupakan pengenalan umum bagi pembaca tentang isi tulisan. Hal ini berbeda dengan abstrak yang mendeskripsikan pekerjaan dan hasil penelitian secara lebih teknis.

Kata pengantar merupakan wadah penulis untuk mengenalkan dan mempromosikan pekerjaan dan hasil penelitian dengan bahasa yang sederhana, sehingga pembaca tertarik untuk menelusuri lebih jauh dengan mencermati seluruh paparan pada buku TA. Ini salah satu tujuan kata pengantar. Contoh paragraf yang mengantar pembaca pada isi Buku TA: *Template L^AT_EX* diberikan berikut ini.

Menuliskan pekerjaan dan hasil penelitian TA dalam suatu laporan buku TA memerlukan panduan standar. Panduan ini dibuat dalam beberapa dokumen, yang salah satunya adalah Buku TA: *Template L^AT_EX*. Suatu template adalah cetakan yang siap dituang oleh curahan buah pikiran yang keluar dari pengalaman dalam melakukan pekerjaan penelitian dan hasil-hasilnya. Mencermati cetakan yang memberikan sejumlah contoh dapat memperlancar penulisan laporan tersebut menjadi suatu produk, yaitu buku TA.

Tujuan lain dari Kata Pengantar adalah memberi tempat untuk menyampaikan rasa syukur dan terima kasih kepada banyak pihak, misalnya keluarga, staf akademik, staf tenaga kependidikan, teman, individu atau komunitas pemberi dukungan dan inspirasi, dan institusi pendukung pendanaan seperti pemberi beasiswa atau dana penelitian, atau pendukung akses fasilitas.

Pengorbanan, kegigihan, dedikasi, dan penuh tanggung jawab dari para pahlawan pekerja medis dalam perawatan pasien terpapar Covid-19 telah memberi inspirasi melalui nilai-nilai kejuangan tanpa pamrih. Inspirasi inilah yang membangkitkan spirit pamungkas pada penyelesaian Buku TA: Template L^AT_EX ini. Suatu inspirasi selalu bekerja dan mengena secara tidak langsung. Banyak berterima kasih atas inspirasi yang memantik spirit ini.

Tidak ada sub bab/bagian pada Kata Pengantar, namun daftar rincian diperkenankan. Pada bagian identitas akhir, seperti berikut ini, dituliskan nama mahasiswa dan NIM, bukan *penulis*, dan tidak perlu ditandatangani. Berikut adalah contoh penulisan rincian yang berisi ucapan terima kasih:

- Prof. Dr. Lala Septem Riza, M.T. dan Nama Pembimbing 2 selaku dosen pembimbing tugas akhir.
- Jyesta, sebagai teman bimbingan yang selalu bersedia untuk diajak berdiskusi selama penelitian.
- Rekan-rekan Spectranova,

Bandung, April 23, 2024

Ahmad Izzuddin

1908919

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN BUKU TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR NOTASI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan dan Batasan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Metodologi	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB II KAJIAN PUSTAKA	3
2.1 Least Squares Support Vector Machine	3
2.2 Sub Bab B	9
2.3 Membuat Persamaan	9
2.3.1 Contoh Persamaan Sederhana	10
2.4 Referensi dan Citation	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Model Komputasi	11

3.2	Sub Bab α	14
3.3	Sub Bab β	15
BAB IV HASIL DAN ANALISIS		16
4.1	Sub Bab Hasil	16
4.2	Memasukkan Gambar	16
4.2.1	Contoh Gambar Sederhana	16
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		18
5.1	Simpulan	18
5.2	Saran	18
DAFTAR PUSTAKA		19
LAMPIRAN A: KODE PROGRAM		21
1.1	PROGRAM SATU	21
1.2	PROGRAM DUA	21
LAMPIRAN B: GAMBAR-GAMBAR		22

DAFTAR NOTASI

Notasi	Arti
$F_{\mu\nu}$	Tensor Elektromagnetik
$R^\mu_{\alpha\nu\beta}$	Tensor Riemann
$\Gamma^\rho_{\mu\nu}$	Simbol Christoffel
$g_{\mu\nu}$	Tensor Metrik
A_μ	Medan Gauge
$R_{\mu\nu}$	Tensor Ricci
\mathcal{L}	Densitas Lagrangian
\hbar	Konstanta Planck Tereduksi
\mathbb{R}	Himpunan Bilangan Real

DAFTAR SINGKATAN

Notasi	Arti
FWHM	<i>Full width half maximum</i>
rms	<i>root mean square</i>
RFS	<i>Rotary forcespinning</i>
PVP	Polivinil pirolidon
SI	Satuan Internasional

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1	Tingkatan Fermi pada Bahan Semikonduktor	16
Gambar 4.2	Dengan menempatkan gambar (a) dan (b), pembaca akan lebih mudah membandingkan keduanya.	17

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Example data of function $2x^2 + 4$	6
Tabel 3.1	Tabel Sederhana Pertama	15
Tabel 3.2	Tabel Sederhana Kedua	15

CHAPTER I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bagian ini mendeskripsikan gambaran umum, konteks, dan posisi penelitian TA dalam konstelasi perkembangan pengetahuan yang telah dicapai. Penjelasan yang dituliskan menjadi penting karena dengan landasan yang kuat, maka pekerjaan penelitian dapat terarah dilakukan. Hal ini lebih spesifik dan tegas disampaikan pada sub-sub bab berikutnya.

Beberapa pustaka utama yang berperan dominan dapat disampaikan di sini untuk memberi gambaran tentang letak penelitian TA dalam konstelasi keilmuan yang dicapai. Hasil-hasil dari pustaka terbaru dapat menopang Latar Belakang ini menjadi lebih kuat.

Sangat wajar apabila isi sub bab setelah Latar Belakang ini mengalami penyesuaian saat sejumlah hasil penelitian sudah diperoleh dan dianalisis. Pada dasarnya, hal ini dimungkinkan apabila ada penyesuaian kecil, karena fokus penelitian sejatinya sudah jelas sedari awal, namun hasil-hasil yang diperoleh dapat memperbaharui beberapa butir isi sub bab. Oleh karena itu, finalisasi isi Pendahuluan ini biasanya dilakukan menjelang akhir pembuatan laporan penelitian yang dituangkan dalam buku TA.

1.2 Rumusan dan Batasan Masalah

Bagian ini menjadi salah satu bagian penting dalam Pendahuluan. Setelah paparan Latar Belakang, maka masalah yang diangkat pada pekerjaan penelitian perlu dirumuskan dengan baik. Perumusan ini sebaiknya dibahasakan tidak dalam bentuk kalimat pertanyaan, melainkan kalimat aktif, dan dapat memuat lebih dari satu rumusan.

Sejalan dengan ini, setiap masalah yang diangkat selalu memiliki batas. Ada batasan, asumsi, atau kriteria yang menjadi pembatas atas masalah yang diangkat dalam penelitian TA, sehingga arah penelitian dapat fokus. Batasan ini perlu dituliskan secara tegas, dan dapat saja memuat lebih dari satu.

1.3 Tujuan

Bagian ini secara tegas menuliskan tujuan pekerjaan penelitian TA, yang dapat memuat lebih dari satu. Pemilihan kata kerja pada Tujuan ini sangat penting karena menggambarkan arah fokus dari jalinan upaya yang dilakukan.

1.4 Metodologi

Di sini disampaikan metodologi yang diterapkan pada pekerjaan penelitian TA. Beberapa di antaranya adalah pengamatan dan akuisisi data, eksperimen numerik, studi pustaka, teoretik atau analitik, dan semi analitik dengan komplemen numerik.

1.5 Sistematika Penulisan

Bagian ini adalah penutup Bab I yang menyampaikan secara ringkas isi setiap bab. Karena pembaca sudah sampai akhir Bab I, yang berarti sudah mengetahui isinya, maka tidak perlu ditulis lagi rincian Bab I. Sebaiknya langsung dituliskan secara ringkas isi rincian bab-bab selanjutnya, misalnya, *Setelah Pendahuluan pada Bab I ini, Bab II akan mengulas tentang ...*

Apabila diperlukan, dapat dituliskan konvensi khusus yang digunakan pada penulisan naskah buku TA ini, misalnya tanda titik menggantikan tanda desimal karena alasan kemudahan dan kejelasan dalam formulasi matematika.

CHAPTER II

KAJIAN PUSTAKA

Bab ini mengulas secara rinci konsep-konsep dasar yang berkaitan dengan pekerjaan penelitian TA dan deskripsi studi pustaka yang dilakukan. Judul bab tidak harus seperti yang dituliskan, melainkan dapat lebih fleksibel yang mencerminkan isi paparan pada bab ini. Demikian halnya dengan judul sub bab.

2.1 Least Squares Support Vector Machine

An arguably fundamental model widely used whether in pedagogical settings or otherwise is the support vector machine. It dates back to works by Vapnik & Lerner in 1963 (Recognition of Patterns with help of Generalized Portraits) and V. N. Vapnik & A. Ya. Chervonenkis in 1964 (A note on one class of perceptrons/On a perceptron class). As the development on SVM continued, what originally was a model for classification of separable data generalized to regression tasks as well Vapnik (2000 The Nature of Statistical Learning Theory).

To derive the least squares support vector regression (J.A. Suykens LSSVM Book) model we start with the linear expression:

$$y = W^T \mathbf{x} + b \quad (2.1)$$

$$\min_{W,e} J(W,e) = \frac{1}{2} W^T W + C \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n e_k \quad (2.2)$$

Such that

$$y_k = W^T \mathbf{x}_k + b + e_k \quad k = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

$$L(W, b, e; \alpha) = \frac{1}{2} W^\top W + C \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n e_k + \sum_{k=1}^n \alpha_k (W^\top \mathbf{x}_k + b + e_k - y_k) \quad (2.4)$$

Derive the KKT system

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial W} = 0 &\rightarrow W = \sum_{k=1}^n \alpha_k x_k \\ \frac{\partial L}{\partial b} = 0 &\rightarrow \sum_{k=1}^n \alpha_k = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial e_k} = 0 &\rightarrow \alpha_k = C e_k \quad k = 1, \dots, n \\ \frac{\partial L}{\partial \alpha_k} = 0 &\rightarrow W^\top \mathbf{x}_k + b + e_k - y_k = 0 \quad k = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2.5)$$

After eliminating W and e , with $\mathbf{1}_n = \langle 1, \dots, 1 \rangle$, $\mathbf{y} = [y_1, \dots, y_n]$, and $\alpha = [\alpha_1, \dots, \alpha_n]$ the solution is as follows in block matrix notation

$$\begin{bmatrix} 0 & \mathbf{1}_n^\top \\ \mathbf{1}_n & \Omega + \frac{I}{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{y} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

The solution in eq. (2.6)

Algorithm 1 LSSVR Training

Input: $\mathbf{X}, \mathbf{y}, \gamma$ **Output:** α, b

```
1:  $\Omega \leftarrow []$   $\triangleright$  Construct matrix of inner products in high dimensional space
2: for  $k = 0 \rightarrow n$  do
3:   for  $l = 0 \rightarrow n$  do
4:      $\Omega_{k,l} \leftarrow K(\mathbf{X}_k, \mathbf{X}_l)$ 
5:   end for
6: end for
7:  $\mathbf{H} \leftarrow \Omega + \frac{\mathbf{I}}{\gamma}$ 
8:  $\mathbf{A} \leftarrow []$   $\triangleright$  Construct left hand side matrix
9:  $\mathbf{A}_{0,0} \leftarrow 0$ 
10: for  $k = 0 \rightarrow n$  do
11:    $\mathbf{A}_{k+1,0} \leftarrow 1$ 
12:    $\mathbf{A}_{0,k+1} \leftarrow 1$ 
13: end for
14: for  $k = 0 \rightarrow n$  do
15:   for  $l = 0 \rightarrow n$  do
16:      $\mathbf{A}_{k+1,l+1} \leftarrow \mathbf{H}_{k,l}$ 
17:   end for
18: end for
19:  $\mathbf{B} \leftarrow []$   $\triangleright$  Construct left hand side of the equation
20:  $\mathbf{B}_0 \leftarrow 0$ 
21: for  $k = 0 \rightarrow n$  do
22:    $\mathbf{B}_{k+1} \leftarrow \mathbf{y}_k$ 
23: end for
24:  $\mathbf{A}^\dagger \leftarrow pseudoInverse(\mathbf{A})$   $\triangleright$  Compute solution using pseudo inverse
25:  $\mathbf{S} \leftarrow \mathbf{A}^\dagger \mathbf{B}$ 
26:  $b \leftarrow \mathbf{S}_0$ 
27: for  $k = 0 \rightarrow n$  do
28:    $\alpha_k \leftarrow \mathbf{S}_{k+1}$ 
29: end for
```

The basic psuedocode from the LSSVM Equation for function regression is defined in LSSVR Training for a training set of length n , features \mathbf{X} , and labels \mathbf{y} . Training the LSSVM means computing the values of langrange multipliers α and bias b . K is the kernel function used to compute the inner products in high dimensional space, here we asume the RBF kernel. \mathbf{A} is a matrix of size $n + 1$ by $n + 1$. \mathbf{H} is a matrix of size n by n . \mathbf{I} is the identity. \mathbf{B} is a vector of size $n + 1$. \mathbf{S} is a vector of size $n + 1$.

After training the model can be used for prediction of unseen points. The pseudocode for prediction is shown in LSSVR Prediction for prediction features \mathbf{U} . The trained model uses the learned multipliers of training points α , the training points themselves \mathbf{X} , and the bias b .

Algorithm 2 LSSVR Prediction

Input: $\mathbf{U}, \alpha, \mathbf{X}, b$

Output: \mathbf{v}

```

1:  $\Omega \leftarrow []$  ▷ Construct matrix of inner products in high dimensional space
2: for  $k = 0 \rightarrow m$  do
3:   for  $l = 0 \rightarrow n$  do
4:      $\Omega_{k,l} \leftarrow K(\mathbf{U}_k, \mathbf{X}_l)$ 
5:   end for
6: end for
7:  $\mathbf{v} \leftarrow \Omega\alpha + \mathbf{1}_m b$ 

```

In this exmple we will be using the function $2x^2 + 4$. The values of this function can be seen in Table 2.1.

No	x	y
1	0.0	4.0
2	0.33...	4.22...
3	0.66...	4.88...
4	1.0	6.0

Table 2.1: Example data of function $2x^2 + 4$

$$\text{For } \Omega_{i,j} = K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right)$$

For example, with $\sigma = 1$, $x_i = 0.0$, & $x_j = 0.33 \dots$

$$\begin{aligned}
K(0.0, 0.33) &= \exp\left(-\frac{\|0.0 - 0.33\|^2}{2(1)^2}\right) \\
&= \exp\left(-\frac{0.33^2}{2}\right) \\
&= 0.9460
\end{aligned} \tag{2.7}$$

$$\Omega \leftarrow \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.9460 & 0.8007 & 0.6065 \\ 0.9460 & 1.0000 & 0.9460 & 0.8007 \\ 0.8007 & 0.9460 & 1.0000 & 0.9460 \\ 0.6065 & 0.8007 & 0.9460 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$\mathbf{I}_{\frac{1}{\gamma}} \rightarrow \mathbf{I}_{\frac{1}{5}} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.2000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.2000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.2000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.2000 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$\Omega + \mathbf{I}_{\frac{1}{5}} \rightarrow H \rightarrow \begin{bmatrix} 1.2000 & 0.9460 & 0.8007 & 0.6065 \\ 0.9460 & 1.2000 & 0.9460 & 0.8007 \\ 0.8007 & 0.9460 & 1.2000 & 0.9460 \\ 0.6065 & 0.8007 & 0.9460 & 1.2000 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$A \rightarrow \begin{bmatrix} 0.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 1.0000 & 1.2000 & 0.9460 & 0.8007 & 0.6065 \\ 1.0000 & 0.9460 & 1.2000 & 0.9460 & 0.8007 \\ 1.0000 & 0.8007 & 0.9460 & 1.2000 & 0.9460 \\ 1.0000 & 0.6065 & 0.8007 & 0.9460 & 1.2000 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$B \rightarrow \begin{bmatrix} 0.0000 \\ 4.0000 \\ 4.2222 \\ 4.8889 \\ 6.0000 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$A^\dagger \rightarrow \begin{bmatrix} -0.8994 & 0.4348 & 0.0652 & 0.0652 & 0.4348 \\ 0.4348 & 2.0686 & -1.6490 & -0.5292 & 0.1096 \\ 0.0652 & -1.6490 & 3.3774 & -1.1992 & -0.5292 \\ 0.0652 & -0.5292 & -1.1992 & 3.3774 & -1.6490 \\ 0.4348 & 0.1096 & -0.5292 & -1.6490 & 2.0686 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$A^\dagger B \rightarrow S \rightarrow \begin{bmatrix} 4.9421 \\ -0.6177 \\ -1.3737 \\ -0.5625 \\ 2.5538 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$b \rightarrow 4.9421 \quad (2.15)$$

$$\alpha \rightarrow \begin{bmatrix} -0.6177 \\ -1.3737 \\ -0.5625 \\ 2.5538 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Prediction

$$U \rightarrow \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.2 \\ 0.5 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\Omega \rightarrow \begin{bmatrix} 0.9560 & 0.9994 & 0.9350 & 0.7827 \\ 0.9802 & 0.9912 & 0.8968 & 0.7261 \\ 0.8825 & 0.9862 & 0.9862 & 0.8825 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

$$\Omega\alpha \rightarrow \begin{bmatrix} -0.4904 \\ -0.6170 \\ -0.2008 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$$\Omega\alpha + b\mathbf{1}_m \rightarrow v \rightarrow \begin{bmatrix} 4.4516 \\ 4.3251 \\ 4.7413 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Where $\mathbf{1}_m$ is a vector of 1s with the length of U .

2.2 Sub Bab B

Suatu penelitian tidak dapat lepas dari capaian pengetahuan dan pemahaman yang sudah dipublikasikan. Deskripsi tentang capaian ini menjadi penting karena selain menunjukkan tingkat pemahaman mahasiswa, juga mengetahui tempat pekerjaan penelitian TA dalam konstelasi capaian tersebut. Studi pustaka dan paparan hasilnya dapat memperkaya wawasan tentang topik yang diangkat pada penelitian TA.

2.3 Membuat Persamaan

Secara prinsip, suatu persamaan menyatu dalam kalimat. Letak persamaan dapat berada di awal, tengah, atau akhir kalimat. Dengan demikian, pada akhir persamaan harus diberikan tanda baca, misalnya koma, titik koma, atau titik, yang menekankan kehadiran persamaan dalam kalimat. Tidak semua persamaan harus diberi nomor. Persamaan yang dirujuk pada naskah TA saja yang harus diberi nomor. Kode awal penomoran ini adalah nomor urut bab, termasuk untuk persamaan pada Lampiran, dengan urutan alfabet kapital.

Setiap notasi harus unik atau tunggal, sehingga arti setiap notasi adalah unik atau tunggal juga. Arti satu notasi harus dituliskan segera ketika notasi tersebut muncul, dan tidak diulang lagi setelahnya.

2.3.1 Contoh Persamaan Sederhana

Persamaan (2.21) mendeskripsikan dinamika fungsi gelombang $\psi(\vec{r}, t)$ di bawah pengaruh potensial $V(\vec{r})$ dan dituliskan sebagai berikut:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \vec{\nabla}^2 \psi + V(\vec{r}) \psi, \quad (2.21)$$

dengan m adalah massa partikel dan \hbar merupakan konstanta Planck tereduksi.

Di akhir persamaan (2.21) diberi koma karena berada ditengah kalimat. Untuk merujuk ke persamaan yang telah ditulis, gunakan perintah `\ref{}`.

Untuk menuliskan beberapa set persamaan yang masih terhubung, gunakan `\subequations{}`. Misal kita punya persamaan diferensial terkopel, kita bisa tuliskan

$$\frac{dy}{dt} = -x, \quad (2.22a)$$

$$\frac{dx}{dt} = -y. \quad (2.22b)$$

Kalau perlu matriks, kita bisa tulis seperti berikut.

$$\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (2.23)$$

2.4 Referensi dan Citation

Sitasi dapat dimasukkan ke dalam Tugas Akhir seperti ini [Fujita et al., 1996]. Untuk sitasi dengan beberapa sumber, dapat dituliskan juga [Hohenberg and Kohn, 1964, Kim et al., 2006]. Atau untuk tiga sumber berarti [Kongkanand et al., 2006, Kresse and Joubert, 1999, Leibbrandt et al., 1993].

CHAPTER III

METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum, metode penelitian yang digunakan pada pekerjaan penelitian disampaikan pada bab ini. Judul bab tidak harus seperti yang dituliskan. Dalam kata lain bisa diubah sesuai kebutuhan.

3.1 Model Komputasi

The DeepONet architecture contains an element that is difficult to optimize.

$$\min_{W_b, W_t, \xi} \quad \frac{1}{2} \|W_b\|_F^2 + \frac{1}{2} \|W_t\|_F^2 + \frac{c}{2} \sum_{i=1}^N \xi_i^2 \quad (3.1a)$$

$$\text{s.t.} \quad y_i = (W_b f_i)^\top (W_t v_i) + \xi_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (3.1b)$$

Converting the optimization problem above to the lagrange formulation

$$\begin{aligned} L(W_b, W_t, \xi; \alpha) = & \frac{1}{2} \|W_b\|_F^2 + \frac{1}{2} \|W_t\|_F^2 + \frac{c}{2} \sum_{i=1}^N \xi_i^2 \\ & + \sum_{i=1}^N \alpha_i (y_i - \xi_i - (W_b f_i)^\top (W_t v_i)) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Taking partial derivatives with respect to

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L(W_b, b_b, W_t, b_t, \xi; \alpha)}{\partial W_b} &= 0 \\
\frac{2}{2}W_b + 0 + 0 - \sum_{i=1}^l \alpha_i((W_t v_i + b_t) f_i^\top) &= 0 \\
W_b - \sum_{i=1}^l \alpha_i((W_t v_i + b_t) f_i^\top) &= 0 \\
W_b &= \sum_{i=1}^l \alpha_i(W_t v_i f_i^\top + b_t f_i^\top) \\
W_b &= \sum_{i=1}^l (\alpha_i W_t v_i f_i^\top) + \sum_{i=1}^l (\alpha_i b_t f_i^\top) \\
W_b &= W_t \sum_{i=1}^l (\alpha_i v_i f_i^\top) + b_t \sum_{i=1}^l (\alpha_i f_i^\top) \\
W_b &= W_t \sum_{i=1}^l (\alpha_i v_i f_i^\top) + b_t \sum_{i=1}^l (\alpha_i f_i^\top)
\end{aligned} \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial L(W_b, b_b, W_t, b_t, \xi; \alpha)}{\partial W_t} = 0 \\
& 0 + \frac{2}{2}W_t + 0 - \sum_{i=1}^l \alpha_i((W_b f_i + b_b)v_i^\top) = 0 \\
& W_t - \sum_{i=1}^l \alpha_i((W_b f_i + b_b)v_i^\top) = 0 \\
& W_t = \sum_{i=1}^l \alpha_i(W_b f_i v_i^\top + b_b v_i^\top) \\
& W_t = \sum_{i=1}^l \alpha_i((\sum_{j=1}^l \alpha_j(W_t v_j f_j^\top + b_t f_j^\top))f_i v_i^\top + b_b v_i^\top) \\
& W_t = \sum_{i=1}^l (\sum_{j=1}^l (\alpha_i \alpha_j W_t v_j f_j^\top f_i v_i^\top + \alpha_i \alpha_j b_t f_j^\top f_i v_i^\top) + \alpha_i b_b v_i^\top) \\
& W_t = \sum_{i=1}^l (\sum_{j=1}^l (\alpha_i \alpha_j W_t v_j f_j^\top f_i v_i^\top) + \sum_{j=1}^l (\alpha_i \alpha_j b_t f_j^\top f_i v_i^\top) + \alpha_i b_b v_i^\top) \\
& W_t - \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j W_t v_j f_j^\top f_i v_i^\top = \sum_{i=1}^l (\sum_{j=1}^l (\alpha_i \alpha_j b_t f_j^\top f_i v_i^\top) + \alpha_i b_b v_i^\top) \\
& W_t (I - \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j v_j f_j^\top f_i v_i^\top) = \sum_{i=1}^l (\sum_{j=1}^l (\alpha_i \alpha_j b_t f_j^\top f_i v_i^\top) + \alpha_i b_b v_i^\top) \\
& W_t = \sum_{i=1}^l (\sum_{j=1}^l (\alpha_i \alpha_j b_t f_j^\top f_i v_i^\top) + \alpha_i b_b v_i^\top) (I - \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j v_j f_j^\top f_i v_i^\top)^{-1} \\
& W_t = \sum_{i=1}^l (\alpha_i (\sum_{j=1}^l (\alpha_j b_t f_j^\top f_i) + b_b) v_i^\top) (I - \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j v_j f_j^\top f_i v_i^\top)^{-1}
\end{aligned} \tag{3.4}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial L(W_b, b_b, W_t, b_t, \xi; \alpha)}{\partial b_b} = 0 \\
& 0 + 0 + 0 - \sum_{i=1}^l \alpha_i(W_t v_i + b_t) = 0 \\
& \sum_{i=1}^l \alpha_i(W_t v_i + b_t) = 0
\end{aligned} \tag{3.5}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L(W_b, b_b, W_t, b_t, \xi; \alpha)}{\partial b_t} &= 0 \\
0 + 0 + 0 - \sum_{i=1}^l \alpha_i (W_b f_i + b_b) &= 0 \\
\sum_{i=1}^l \alpha_i (W_b f_i + b_b) &= 0
\end{aligned} \tag{3.6}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L(W_b, b_b, W_t, b_t, \xi; \alpha)}{\partial \xi} &= 0 \\
0 + 0 + \frac{2c}{2} \sum_{i=1}^l \xi_i - \sum_{i=1}^l \alpha_i &= 0 \\
\sum_{i=1}^l c \xi_i - \alpha_i &= 0 \\
c \xi_i &= \alpha_i
\end{aligned} \tag{3.7}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L(W_b, b_b, W_t, b_t, \xi; \alpha)}{\partial \alpha} &= 0 \\
0 + 0 + 0 + \sum_{i=1}^l y_i - \xi_i - (W_b f_i + b_b)^\top (W_t v_i + b_t) &= 0 \\
\sum_{i=1}^l y_i - \xi_i - (W_b f_i + b_b)^\top (W_t v_i + b_t) &= 0
\end{aligned} \tag{3.8}$$

3.2 Sub Bab α

Misal kita mau masukin tabel, kita bisa juga.

Table 3.1: Tabel Sederhana Pertama

G	$\dim G$	$\dim F$
$SU(N)$	$N^2 - 1$	N
$SO(N)$	$\frac{1}{2}N(N - 1)$	N
$Sp(N)$	$N(2N + 1)$	$2N$
E_6	78	27
E_7	133	56
E_8	248	248
F_4	52	6
G_2	14	7

3.3 Sub Bab β

Atau bisa juga seperti berikut.

Table 3.2: Tabel Sederhana Kedua

G	$\dim G$	$\dim F$
$SU(N)$	$N^2 - 1$	N
$SO(N)$	$\frac{1}{2}N(N - 1)$	N
$Sp(N)$	$N(2N + 1)$	$2N$
E_6	78	27
E_7	133	56
E_8	248	248
F_4	52	6
G_2	14	7

CHAPTER IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Sub Bab Hasil

Bab ini memaparkan pekerjaan penelitian dan, terutama, hasil-hasilnya, untuk di- analisis. Secara komprehensif bab ini merepre-sentasikan curahan pemikiran dan kemampuan mahasiswa dalam menjalani pekerjaan penelitian, yang hasil-hasilnya dapat dipertanggungjawabkan. Banyak pendukung yang diperlukan dalam penulisan bab ini, seperti skema penting pengolahan data, penurunan model matematika, asumsi khusus, tabulasi hasil dan analisis, dan gambar atau grafik yang membantu dalam paparan analisis. Judul bab dan sub bab disesuaikan dengan isi paparan.

4.2 Memasukkan Gambar

Setiap gambar harus dirujuk pada naskah TA, termasuk gambar pada Lam- piran, meng- gunakan huruf pertama kapital (G) dan nomor gambar, tidak berdasarkan posisi relat- ifnya (misalnya di bawah ini atau sebelum ini). Format gambar yang umum adalah jpg, png, dan postscript (ps atau eps). Ukuran huruf pada nama sumbu dan label gam- bar/grafik harus cukup besar dan jelas, demikian halnya dengan angka pada sumbu. Gambar dan grafik dapat berwarna dengan pilihan warna yang tegas dan jelas.

4.2.1 Contoh Gambar Sederhana

Contoh menginput gambar pada buku TA pada Apabila ada dua gambar, kita juga

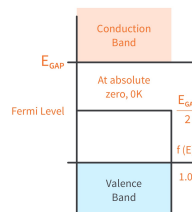


Figure 4.1: Tingkatan Fermi pada Bahan Semikonduktor

bisa menaruh keduanya berdampingan.

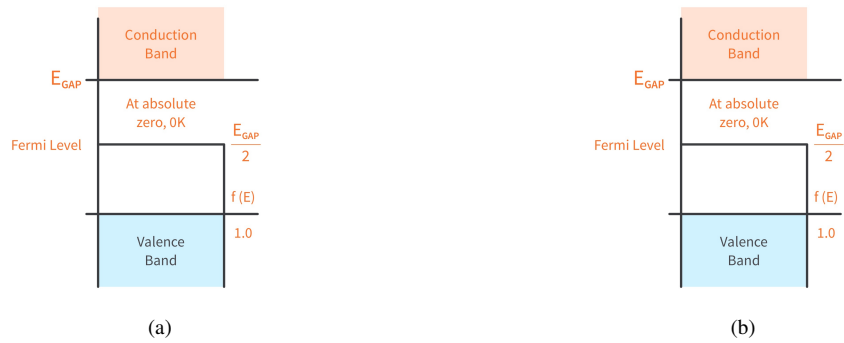


Figure 4.2: Dengan menempatkan gambar (a) dan (b), pembaca akan lebih mudah membandingkan keduanya.

CHAPTER V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Bab ini merupakan pamungkas berupa rincian rangkuman yang merupakan simpulan dari analisis yang telah dilakukan. Simpulan ini menyajikan sejumlah hal penting yang disampaikan secara ringkas, padat, dan utuh, yang menjawab tujuan penelitian yang dituliskan pada Bab Pendahuluan. Sangat mungkin ada beberapa konsekuensi dan implikasi yang ditimbulkan dari simpulan yang dihasilkan, yang sepatutnya menjadi perhatian pada penelitian berikutnya. Judul bab dapat disesuaikan, namun umumnya ada *Simpulan* yang memang mendominasi isi bab ini.

5.2 Saran

Sejumlah ide yang muncul ketika melaksanakan penelitian TA dapat menjadi bahan atau topik untuk pekerjaan selanjutnya. Hal ini dapat berupa perbaikan atau ragam lain dari apa yang telah dilakukan sepanjang penelitian. Sub bab ini menjadi sumber informasi penting bagi, utamanya mahasiswa, yang akan melakukan penelitian lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [Blöchl, 1994] Blöchl, P. E. (1994). Projector augmented-wave method. *Phys. Rev. B*, 50:17953–17979.
- [Fujita et al., 1996] Fujita, T., Okawa, Y., Matsumoto, Y., and Tanaka, K.-i. (1996). Phase boundaries of nanometer scale $c(2 \times 2)$ -o domains on the cu(100) surface. *Phys. Rev. B*, 54:2167–2174.
- [Hohenberg and Kohn, 1964] Hohenberg, P. and Kohn, W. (1964). Inhomogeneous electron gas. *Phys. Rev.*, 136:"B864–B871".
- [Kim et al., 2006] Kim, Y., Fregonese, M., Mazille, H., Feron, D., and Santarini, G. (2006). Study of oxygen reduction on stainless steel surfaces and its contribution to acoustic emission recorded during corrosion processes. *Corrosion Science*, 48(12):3945 – 3959.
- [Kongkanand et al., 2006] Kongkanand, A., Kuwabata, S., Girishkumar, G., and Kamat, P. (2006). Single-Wall carbon nanotubes supported platinum nanoparticles with improved electrocatalytic activity for oxygen reduction reaction. *Langmuir*, 22(5):2392–2396.
- [Kresse and Hafner, 1993] Kresse, G. and Hafner, J. (1993). Ab initio molecular dynamics for liquid metals. *Phy. Rev. B*, 47:558.
- [Kresse and Joubert, 1999] Kresse, G. and Joubert, D. (1999). From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method. *Phys. Rev. B*, 59:1758–1775.
- [Leibbrandt et al., 1993] Leibbrandt, G. W. R., van Wijk, R., and Habraken, F. H. P. M. (1993). Growth and alloy formation of pt on fe(100). *Phys. Rev. B*, 47:6630–6643.
- [Markovic et al., 2001] Markovic, N. M., Schmidt, T. J., Stamenkovic, V., and Ross, P. N. (2001). Oxygen reduction reaction on pt and pt bimetallic surfaces: A selective review. *Fuel Cells*, 1(2):105.
- [Maxwell, 1996] Maxwell, I. E. (1996). Driving forces for innovation in applied catalysis. In Joe W. Hightower, W. Nicholas Delgass, E. I. and Bell, A. T., editors, *11th*

International Congress On Catalysis - 40th Anniversary Proceedings of the 11th ICC, volume 101 of *Studies in Surface Science and Catalysis*, pages 1 – 9. Elsevier.

LAMPIRAN A

KODE PROGRAM

1.1 PROGRAM SATU

1.2 PROGRAM DUA

LAMPIRAN B

GAMBAR-GAMBAR