

PENERAPAN TRANSFORMASI LINEAR DALAM RUANG LINGKUP BAHASA PADA ERA DIGITAL

Zaki Maulana Hidayat¹⁾, Sisilia Sylviani²⁾, Anita Triska³⁾

^{1,2,3)} Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang KM.21, Hegarmanah, Kec. Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, 45363

*sisilia.sylviani@unpad.ac.id

Abstract

A linear transformation is a topic that is often encountered in the study of Algebra. Some researchers in the field of mathematics use linear transformations in their research. The use of linear transformations is not only applied and researched in the field of mathematics but can also be applied in other fields. One of them is the application in the field of language. This paper describes several studies in this field that use linear transformation in their research. From this research, the researcher reveals that the use of linear transformations can facilitate researchers in analyzing the similarity of word meanings from their representation vectors and their application is more effective and efficient compared to other methods.

Keywords: *linear transformation, word embedding, mathematic, algebra*

Abstrak

Transformasi linier merupakan topik yang sering ditemui dalam kajian Aljabar. Beberapa peneliti dalam bidang matematika menggunakan transformasi linear dalam penelitian mereka. Penggunaan transformasi linear tersebut tidak hanya diterapkan dan diteliti dalam bidang matematika saja, tetapi di bidang lain juga dapat diterapkan. Salah satunya adalah penerapan dalam bidang bahasa. Pada paper ini dijelaskan mengenai beberapa penelitian dalam bidang tersebut yang menggunakan transformasi linear pada penelitiannya, Dari penelitian tersebut, para peneliti mengungkapkan bahwa penggunaan transformasi linear dapat memudahkan peneliti dalam menganalisis kesamaan makna kata dari vektor representasinya serta penerapannya lebih efektif dan efisien dibanding dengan metode yang lain.

Kata Kunci: *transformasi linear, word embedding, matematika, aljabar*

PENDAHULUAN

Tanpa disadari, teknologi-teknologi yang ada akhir-akhir ini sudah semakin

maju. Bisa diamati, dalam menjalankan kehidupan sehari-hari, manusia pada zaman era digital saat ini sudah mulai terbiasa memanfaatkan teknologi tersebut untuk mempermudah urusan mereka. Mulai dari

aktivitas sehari-hari, belajar, maupun bekerja, manusia terus menerus mengembangkan teknologi yang ada saat ini supaya aktivitas tersebut dapat dilakukan semakin mudah. Seperti contohnya, orang yang sudah memiliki telepon genggam pribadi. Jumlah orang yang memiliki telepon genggam di dunia semakin tahun semakin meningkat (Turner, t.t.). Di Indonesia sendiri, pada tahun 2021, banyaknya orang yang memiliki telepon genggam sebanyak 199.2 juta jiwa (*Indonesia: Smartphone Users 2026 / Statista*, 2023). Banyaknya penggunaan telepon genggam tersebut mendorong beberapa pihak untuk mengembangkan bisnisnya dengan memanfaatkan telepon genggam ini. Pada tahun 2021, perangkat lunak yang diunduh oleh pengguna telepon genggam didominasi oleh media sosial (Lidwina, 2021), (Curry, 2023). Penggunaan media sosial tersebut dapat membawahi berbagai perangkat untuk penggunaannya, diantaranya dapat digunakan untuk media belajar, *marketing*, penyimpanan dan pengiriman dokumentasi, pemberian informasi, dan lain-lain (Aeni, 2022). Selain media sosial, salah satu perangkat lunak yang bisa digunakan untuk melakukan pertemuan jarak jauh, yaitu Zoom, juga merupakan salah satu perangkat lunak yang banyak diunggah oleh pengguna perangkat keras, seperti telepon genggam, komputer, dan lain-lain (Mahdi, 2022), (Curry, 2023). Pengguna Zoom ini pun, hingga tahun 2021, semakin meningkat (Annur, 2021). Hal tersebut didorong karena pandemi COVID-19 sehingga banyak orang-orang yang mengharuskan belajar dan bekerja dari rumah masing-masing (Annur, 2021), (Dewantara, 2021). Tidak hanya perangkat lunak Zoom, perangkat lunak lain juga banyak digunakan dalam membantu kegiatan manusia. Seperti contohnya penggunaan perangkat lunak Edmodo yang

digunakan dan diteliti oleh Dwi S. dan rekannya (Susanti & Effendi, 2022) dalam melaksanakan ulangan harian matematika siswa SMA. Selain penggunaan Edmodo, beberapa pelajar menggunakan salah satu fasilitas yang disediakan Google, yaitu Google Classroom, dalam pembelajaran secara daring seperti yang dilakukan oleh Rika Ayu dan rekan-rekannya (Rika Ayu Febrilia dkk., 2020).

Perkembangan teknologi yang pesat saat ini tidak lepas dari pentingnya peranan ilmu matematika. Pasalnya, matematika adalah salah satu cabang dari ilmu murni atau ilmu dasar yang mendasari ilmu-ilmu yang ada dan berkembang pada era digital ini. Salah satu ilmu matematika yang akan dibahas lebih dalam pada penelitian ini adalah transformasi linear. Transformasi linear dalam ilmu matematika adalah transformasi atau pemetaan yang mengawetkan struktur dari ruang vektor.

Beberapa penelitian dalam matematika sudah banyak dilakukan yang menggunakan atau menerapkan transformasi linear dalam penelitiannya. Seperti Himayati (Himayati, 2020) pada penelitiannya, dia menganalisis regulatitas dan relasi Green pada semigrup transformasi linear parsial. Sementara Abdul Majid dan rekan-rekannya (Abdul Majid dkk., 2019) mengaitkan hubungan antara transformasi linear dan matriks ortogonal dengan melihat bentuk dari matriks transformasi linearnya. Oktaviana dan rekannya (Oktaviana dkk., 2020) mempelajari transformasi Givens dan penerapannya. Transformasi Givens itu sendiri merupakan transformasi linear yang menggunakan matriks rotasi Givens (Oktaviana dkk., 2020).

Selain dalam lingkup bidang matematika, beberapa penelitian menerapkan metode atau konsep dari transformasi linear ke dalam masalah-masalah yang muncul di kehidupan sehari-hari. Salah satu penelitian yang menggunakan konsep transformasi linear adalah penelitian yang dilakukan oleh Xueting Li dan rekannya (Li dkk., 2019). Penggunaan konsep transformasi linear digunakan Xueting Li dan rekannya pada proses transfer suatu *style* atau gaya dari sebuah gambar atau video ke gambar atau video yang lain.

Penerapan transformasi linear pada paper ini akan lebih difokuskan pada salah satu penerapan yang digunakan dalam bidang bahasa. Penerapan ini dimaksud untuk membantu memahami kesamaan makna dari suatu kata dengan kata yang lain, namun yang berasal dari bahasa yang berbeda. Hal ini digunakan untuk membuat metode efektif untuk struktur bahasa yang digunakan dalam *Natural Language Processing* (NLP). *Natural Language Processing* (NLP) adalah suatu proses komputasi yang dilakukan untuk menganalisis dan mempresentasikan teks yang menggunakan bahasa alami atau bahasa manusia dengan tujuan untuk dapat memproses teks tersebut secara komputasi sehingga dapat mempermudah dan membantu manusia dalam menjalankan tugasnya (Liddy, 2001).

Terdapat beberapa cabang ilmu dan pembahasan yang dipelajari dalam *Natural Language Processing* (NLP) yang terus mengalami pembaharuan agar algoritma yang digunakan dalam memahami bahasa manusia menggunakan komputasi semakin efektif. Salah satunya adalah *word embedding*. *Word embedding* adalah sebuah

fungsi parameter yang memetakan kata-kata ke dalam masing-masing vektor berdimensi tinggi (Nurdin dkk., 2020). Kata-kata tersebut direpresentasikan ke dalam suatu vektor yang bernilai real (Brownlee, 2019). Semakin mirip makna yang dimiliki oleh kata pertama dengan kata kedua, jarak antar vektor dari representasi kata tersebut semakin dekat (Khandelwal, 2019). Penelitian mengenai *word embedding* dipelopori oleh Mikolov dan rekan-rekannya (Mikolov, Chen, dkk., 2013). Penelitian-penelitian tersebut terus berkembang hingga saat ini. Beberapa metode yang cukup terkenal dalam mempelajari cara kerja *word embedding* adalah Word2Vec (Mikolov, Chen, dkk., 2013), GloVe (Pennington dkk., 2014), dan FastText (Joulin dkk., 2016). Perkembangan representasi kata ini tidak hanya dipelajari dalam satu bahasa atau *monolingual word embedding* saja, namun representasi kata ini sudah dipelajari hingga representasi antar kata pada bahasa berbeda atau *cross-lingual word embedding*.

Beberapa penelitian yang mempelajari mengenai *cross-lingual word embedding* ini menggunakan konsep transformasi linear yang digunakan dalam suatu atau beberapa tahap dalam penelitiannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui peranan matematika, khususnya mengenai transformasi linear dalam beberapa penelitian yang dilakukan dalam hal tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang disajikan pada paper ini didasari dari beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

Bagaimanakah penerapan dari transformasi linear yang digunakan

dalam penelitian beberapa tahun ke belakang dalam ruang lingkup bahasa?

Pertanyaan penelitian ini akan dijawab dengan meninjau literatur tentang hasil-hasil penelitian dalam beberapa tahun terakhir terkait transformasi linier dan pemrosesan bahasa alami. Tinjauan ini akan mengidentifikasi berbagai cara transformasi linier telah digunakan untuk merepresentasikan bahasa tersebut.

Bagaimanakah metode yang digunakan penelitian-penelitian tersebut dalam pengembangan transformasi linear di bidang bahasa?

Pertanyaan penelitian ini akan dijawab dengan meninjau literatur tentang metode-metode yang digunakan oleh para peneliti dalam mengembangkan penerapan konsep transformasi linier dalam bidang Bahasa.

Bagaimana hasil penelitian yang telah ada sejauh ini menggambarkan transformasi linier dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja tugas pemrosesan bahasa alami?

Pertanyaan penelitian ini akan dijawab dengan melihat kinerja model pembelajaran pada hasil-hasil penelitian yang dikaji, yaitu yang menggunakan transformasi linier pada berbagai tugas pemrosesan bahasa alami. Kemudian akan dikaji bagaimana hasil penelitian tersebut menggambarkan seberapa baik transformasi linier dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja tugas tersebut.

Untuk menyelidiki pertanyaan-pertanyaan tersebut, peneliti melakukan studi literatur dari beberapa artikel yang dipublikasi dalam rentang tahun 2017-2022. Topik dari artikel-artikel yang diambil difokuskan pada penggunaan transformasi linear atau konsep transformasi linear di

dalam representasi kata atau *word embedding*.

Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. *Tinjauan literatur tentang hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan dalam lingkup transformasi linier dan pemrosesan bahasa alami.*

Ini akan melibatkan tinjauan literatur penelitian tentang penggunaan transformasi linier untuk mewakili dan memproses bahasa. Ini akan mencakup ulasan tentang berbagai jenis transformasi linier yang telah digunakan dalam pemrosesan bahasa alami, serta berbagai cara transformasi ini digunakan untuk meningkatkan kinerja tugas pemrosesan bahasa alami.

2. *Studi implementasi transformasi linier dalam penelitian-penelitian yang telah dilakukan.*

Ini akan melibatkan studi tentang berbagai cara transformasi linier yang sudah diterapkan dalam penelitian-penelitian yang telah dilakukan yang menjadi fokus dari penelitian ini, yang terkait dengan pemrosesan bahasa alami.

3. *Perbandingan hasil kinerja model-model yang digunakan dalam penelitian-penelitian tersebut dalam tugas pemrosesan bahasa alami.*

Ini akan melibatkan pengkajian hasil-hasil yang telah diperoleh dalam penelitian yang menggunakan transformasi linier pada berbagai tugas pemrosesan bahasa alami. Ini akan mencakup perbandingan kinerja model ini dengan jenis model pemrosesan bahasa alami lainnya, serta studi tentang faktor-faktor yang memengaruhi kinerja model ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa tahun ke belakang, penggunaan atau konsep dari transformasi linear sudah mulai diterapkan dalam beberapa penelitian di luar bidang matematika. Hal ini dikarenakan para peneliti pada bidang tersebut ingin menemukan metode yang efektif dalam menyelesaikan masalah-masalah yang sedang diselesaikannya dan transformasi linear merupakan salah satu metode yang efektif yang dinilai dapat menyelesaikan masalah tersebut. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, transformasi linear adalah pemetaan yang mengawetkan struktur dari ruang vektor. Misalkan \mathbf{F} adalah pemetaan yang memetakan ruang vektor A ke ruang vektor B . Secara formal, pemetaan $\mathbf{F}: A \mapsto B$ dikatakan transformasi linear jika untuk setiap $a \in A$, $b \in B$ dan $n \in \mathbb{F}$ di mana \mathbb{F} adalah *field* atau lapangan, berlaku $\mathbf{F}(na + nb) = n\mathbf{F}(a) + n\mathbf{F}(b)$ (Anton & Rorres, 2013). Konsep inilah yang digunakan oleh beberapa peneliti yang meneliti *word embedding* supaya mudah dipahami dan dikerjakan dengan menggunakan komputasi.

Brychcin dalam penelitiannya (Brychcín, 2020) menerapkan transformasi linear ini dalam pemetaan yang dilakukan dari ruang vektor bahasa pertama ke dalam ruang vektor bahasa kedua. Hal ini dilakukan untuk membantu penelitian dalam *cross-lingual word embedding* untuk mengestimasi kesamaan arti dalam dua kalimat dari bahasa yang berbeda. Tujuan dari Brychcin dan tim melakukan penelitian tersebut adalah untuk membuat sebuah transformasi linear yang baru dalam proses *cross-lingual embedding* yang dapat mengalahkan metode-metode yang lain.

Transformasi linear yang digunakan dalam penelitian Brychcin (Brychcín, 2020) memanfaatkan salah satu sifat dari transformasi linear di mana setiap transformasi linear dapat dinyatakan matriks transformasinya. Transformasi ini memetakan ruang vektor kata bahasa yang pertama ke ruang vektor kata bahasa kedua. Hal ini dapat dilakukan dengan mengubah kata-kata yang ada dalam suatu himpunan kata dalam bahasa pertama ke dalam himpunan vektor yang memiliki ruang dan dimensi yang sama. Misalkan i adalah suatu bahasa yang ada di dunia dan V^i adalah himpunan dari kosakata yang ada dalam bahasa i . Sebagai contoh, pilih i' adalah Bahasa Indonesia. Sehingga $V^{i'}$ dapat dinyatakan sebagai

$$V^{i'} = \{ \dots, \text{kami, matematika, } \dots \}.$$

Misalkan juga $w^i \in V^i$ adalah suatu kata dari kosakata yang ada di V^i . Sebagai contoh yang mudahnya, pilih $w_1^{i'} = \text{mobil}$ dan $w_2^{i'} = \text{menulis}$. $w_1^{i'}$ dan $w_2^{i'}$ adalah dua buah kata yang berbeda yang merupakan kosakata yang berasal dari bahasa i' atau Bahasa Indonesia, sehingga $w_1^{i'}, w_2^{i'} \in V^{i'}$. Misalkan $S: V \mapsto \mathbb{R}^d$ adalah pemetaan yang memetakan kosakata-kosakata ke dalam suatu ruang vektor berdimensi d . Sebagai contoh, misalkan a adalah suatu bahasa yang ada di dunia. Dari pemisalan, dapat dikatakan bahwa $w^a \in V^a$ adalah kata yang ada dalam kosakata di bahasa a . Bentuk representasi vektor pada ruang vektor berdimensi d dapat dituliskan sebagai $S^a(w^a)$ di mana $S^a: V^a \mapsto \mathbb{R}^d$.

Transformasi yang dijelaskan dalam penelitian Brychcin (Brychcín, 2020) ini terjadi pada pemetaan yang memetakan ruang vektor pertama, yaitu ruang vektor

yang memuat vektor-vektor representasi dari kata-kata dari kosakata bahasa pertama, ke dalam ruang vektor kedua, yaitu ruang vektor yang memuat vektor-vektor representasi dari kata-kata dari kosakata bahasa kedua. Dengan memanfaatkan sifat transformasi linear di mana setiap transformasi linear dapat dinyatakan matriks transformasinya, misalkan a dan b adalah bahasa yang ada di dunia ini yang berbeda. Misalkan $S^{a \rightarrow b}(w^a)$ menyatakan pemetaan yang memetakan vektor dari ruang vektor representasi kata dalam bahasa a ke dalam ruang vektor representasi kata bahasa b . Sehingga diperoleh transformasi linear dalam paper ini adalah

$$S^{a \rightarrow b}(w^a) = \mathbf{T} \cdot S^a(w^a)$$

di mana \mathbf{T} adalah matriks transformasi yang mentransformasikan vektor-vektor pada ruang vektor bahasa a ke ruang vektor bahasa b .

Peneliti lain, yaitu Doval (Doval dkk., 2018) bersama rekan-rekannya, melakukan penelitian yang serupa dengan Brychcin namun dengan menambahkan transformasi linear yang baru setelah menentukan transformasi linear dari bahasa pertama ke bahasa kedua. Transformasi linear yang baru ini memetakan vektor kata dengan vektor kata terjemahannya ke titik tengah dari kedua vektor tersebut. Sebagai gambaran, misalkan terdapat sebuah kata w dalam suatu bahasa dengan kata w' adalah bahasa terjemahannya. Misalkan v^w adalah vektor representasi dari w dan $v^{w'}$ adalah vektor representasi dari w' . Menurut Doval dan rekannya (Doval dkk., 2018) setelah membuat representasi v^w dan $v^{w'}$, terdapat jarak atau celah yang cukup jauh antara v^w dengan $v^{w'}$. Pada penelitian Doval ini,

transformasi linear antar bahasa tetap diterapkan dengan menggunakan pendekatan dari penelitian sebelumnya, yaitu VecMap (Artetxe dkk., 2017) dan MUSE (Conneau dkk., 2017). Metode yang dilakukan oleh Doval dan rekannya adalah untuk mencoba mengurangi jarak atau celah tersebut dengan memindahkan v^w dan $v^{w'}$ ke titik tengah dari dua vektor tersebut. Jika dimisalkan x adalah titik tengah dari vektor v^w dan vektor $v^{w'}$, maka penelitian yang dilakukan oleh Doval dan rekannya ini adalah untuk mencari matriks transformasi \mathbf{T} sedemikian sehingga berlaku $\mathbf{T} \cdot v^w \approx x$.

Peneliti lain, Bollegala dan rekannya (Bollegala dkk., 2017), melakukan penelitian pada bidang yang sama, yaitu transformasi linear pada *word embedding*. Transformasi linear pada penelitian Bollegala tersebut difokuskan pada perbandingan transformasi yang dilakukan dengan metode yang berbasis hitungan atau *counting base* dengan metode yang berbasis perkiraan atau *prediction base*. Metode-metode *counting base* dan *prediction base* yang dipakai merupakan hasil dari beberapa penelitian sebelumnya (Mikolov, Chen, dkk., 2013), (Levy & Goldberg, 2014), (Keerthi dkk., 2015).

Tabel 1. Kesimpulan dari penelitian yang diteliti

Judul Artikel	Penulis	Persoalan	Metode	Hasil
Linear transformations for cross-lingual semantic textual similarity	Brychcín, Tomáš	Mencari metode yang lebih efektif dan efisien dibanding metode-metode yang sudah ada dalam pengembangan <i>cross lingual embedding</i>	Menemukan transformasi linear yang baru dengan beberapa pendekatan atau metode yaitu transformasi kuadrat terkecil, transformasi ortogonal, analisis korelasi kanonik, dan <i>ranking transformation</i>	Brychcin memperoleh transformasi linear yang baru yang diperoleh dari tiga pendekatan yang digunakan di beberapa penelitian berbeda yang telah ditemukan sebelumnya
Improving Cross-Lingual Word Embeddings by Meeting in the Middle	Doval, Yeraí	Mencoba untuk mengimprovisasi <i>cross lingual word embedding</i> dengan pendekatan yang berbeda dengan sebelum-sebelumnya	Doval dan rekannya mencoba untuk membuat transformasi linear yang baru setelah menerapkan transformasi linear pada pemetaan vektor representasi kata dari bahasa pertama ke vektor representasi kata dari bahasa kedua	Doval dan rekannya berhasil mengimplemantasikan transformasi linear yang memetakan vektor representasi kata dengan vektor terjemahan ke titik tengah antara kedua vektor tersebut
Learning linear transformation between counting-based and prediction-based word embeddings	Bollegala, Danushka	Adanya ketidakraguan di mana apakah adanya perbedaan dari transformasi linear yang dilakukan dalam <i>word embedding</i> dengan pendekatan atau metode berbasis hitungan atau berbasis perkiraan	Membandingkan beberapa metode dari peneliti lain yang menggunakan pendekatan yang berbasis hitungan dengan beberapa metode dari penelitian lain yang berbasis perkiraan. Selain itu, Bollegala dan rekannya bereksperimen apakah memungkinkan menerapkan transformasi linear antara ruang yang diperoleh dari metode-metode tersebut	Dari eksperimen yang dilakukan, masing-masing metode yang memiliki pendekatan berbeda, memiliki performa yang berbeda-beda dalam beberapa kasus tertentu. Untuk penelitian menerapkan transformasi linear antar ruang metode tersebut, peneliti akan lebih memperdalamnya lagi pada penelitian selanjutnya
A Structural Probe for Finding Syntax in Word Representations	Hewitt, John	Mengevaluasi apakah <i>syntax tree</i> atau pohon sintaks tertanam dalam transformasi linear yang terjadi dalam <i>word embedding</i> secara konsisten	Hewitt dan rekannya mendesign sebuah model penyelidikan struktural yang sederhana yang digunakan untuk mengevaluasi keadaan jaringan pohon sintaks pada <i>word embedding</i>	Adanya struktur pohon sintaks pada ruang vektor representasi kata dalam <i>word embedding</i> . Selain itu Hewitt dan rekannya menyatakan bahwa <i>rank</i> matriks transformasi yang diperlukan dalam keefektifitas transformasi tidaklah tinggi

Selain membandingkan hasil dari dua metode tersebut, Bollegala dengan rekannya meneliti apakah memungkinkan dibuat transformasi linear yang mentransformasikan vektor-vektor yang

diperoleh dengan metode *counting base* ke ruang vektor yang menggunakan metode *prediction base*. Pada penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa transformasi linear tidak hanya digunakan dalam kasus

cross lingual atau antar bahasa saja, tetapi juga dapat digunakan dalam konsep *monolingual* atau satu bahasa transformasi linear tidak hanya digunakan dalam kasus *cross lingual* atau antar bahasa saja, tetapi juga dapat digunakan dalam konsep *monolingual* atau satu bahasa.

Penelitian yang dilakukan dalam bidang *word embedding* tidak hanya meneliti mengenai penggunaan konsep dari transformasi linear saja. Sebagai contoh, Hewitt dan Manning (Hewitt & Manning, 2019) melakukan evaluasi di dalam penelitiannya mengenai penggunaan transformasi linear dalam merepresentasi kata. Menurut Hewitt dan Manning, *rank* matriks dari matriks transformasi yang digunakan dalam transformasi linear *word embedding* yang efektif adalah *rank* matriks yang tidak terlalu besar.

Tujuan awal Hewitt dan Manning melakukan penelitiannya adalah untuk menguji dan mengevaluasi penggunaan transformasi linear dalam penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Mereka menggunakan model penyelidikan struktural yang sederhana untuk memeriksa kekonsistenan dari representasi kata yang menggunakan konsep dari transformasi linear. Penelitiannya dilakukan dengan menggunakan sampel model representasi dalam Bahasa Inggris, yaitu ELMo (Peters dkk., 2018) dan BERT (Devlin dkk., 2018).

Peranan transformasi linear dalam *word embedding* ini dapat dikatakan cukup berperan aktif dalam membantu mencari kesamaan makna antara dua kata dari bahasa yang berbeda. Walaupun begitu, terdapat beberapa penelitian lain yang menilai bahwa untuk beberapa kasus, penerapan transformasi linear ini dinilai masih cukup

kurang. Hal tersebut dinyatakan dalam penelitian yang dilakukan oleh Alipour dan rekannya (Alipour dkk., 2022). Ini bisa saja disebabkan oleh perbedaan struktur dari bahasa pertama dengan bahasa yang kedua. Walaupun begitu, Alipour dan rekannya menyatakan bahwa berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mikolov (Mikolov, Sutskever, dkk., 2013) dan Conneau (Conneau dkk., 2017), performa dari transformasi linear pada kasus tersebut lebih efektif jika dibandingkan dengan menggunakan transformasi yang bersifat nonlinear. Hal tersebut dikarenakan menghitung dan mempelajari hubungan nonlinear antara dua ruang atau himpunan yang berbeda secara komputasi memerlukan usaha yang lebih besar dibanding dengan yang linear (Kedem dkk., 2012), (Bollegala dkk., 2017).

SIMPULAN

Peranan matematika dalam perkembangan ilmu pengetahuan pada era modern ini, sangatlah dibutuhkan tidak hanya dalam lingkup matematika saja, tetapi bidang-bidang lain yang mungkin sebelumnya tidak pernah terbayangkan, Materi yang dipelajari di matematika, baik secara langsung maupun konsep, banyak dipakai dalam menyelesaikan masalah-masalah di kehidupan sehari-hari baik masalah yang mudah maupun yang kompleks.

Salah satu penerapan ilmu atau konsep matematika yang digunakan dalam penyelesaian masalah yang cukup kompleks di luar bidang matematika itu sendiri adalah penerapan dalam bidang bahasa yang digunakan pada *Natural Language Processing* (NLP). Dari penelitian-penelitian yang diteliti dalam paper ini, para

peneliti secara tidak langsung menyampaikan respon positif terhadap penggunaan transformasi linear para ranah *word embedding*. Dengan menggunakan transformasi linear dalam membantu memetakan vektor-vektor yang merupakan representasi kata dalam sebuah bahasa, peneliti mampu memetakan vektor-vektor dari kosakata suatu bahasa ke bahasa lain yang memiliki makna yang mirip atau sama. Beberapa peneliti juga menyatakan bahwa penelitian *word embedding* dengan menggunakan metode transformasi linear lebih efektif dibanding dengan menggunakan metode lain. Hal tersebut sangatlah membantu dalam penelitian atau pembelajaran *word embedding* dalam *Natural Language Processing* (NLP) ke depannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Majid, A., Noliza Bakar, N., & Yanita. 2019. "Sifat-Sifat Matriks Ortogonal Dan Transformasi Ortogonal". *Jurnal Matematika UNAND*. Vol. VIII (2), pp: 7 – 14.
- Aeni, S. N. 2022. *Menilik Sejarah Media Sosial, Manfaat, dan Contohnya - Teknologi Katadata.co.id*. [Online] Tersedia: <https://katadata.co.id/sitinuraeni/digital/6246823429ac2/menilik-sejarah-media-sosial-manfaat-dan-contohnya>
- Alipour, G., Bagherzadeh Mohasefi, J., & Feizi-Derakhshi, M. R. 2022. "Learning Bilingual Word Embedding Mappings with Similar Words in Related Languages Using GAN". *Applied Artificial Intelligence*. Vol. 36(1).
- Annur, C. M. 2021. *Imbas Pandemi Covid-19, Pendapatan Zoom Meroket 191% pada Kuartal I-2021*. [Online] Tersedia: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/07/14/imbaspandemicovid-19pendapatanzoommeroket191padakuartal-i-2021>
- Anton, H., & Rorres, C. 2013. *Elementary Linear Algebra: Applications Version*, 11th Edition. Dalam *John Wiley & Sons Incorporated* (11th ed.). <https://doi.org/10.1201/b17671-9>
- Artetxe, M., Labaka, G., Agirre, E., & Cho, K. 2017. *Unsupervised Neural Machine Translation*. <http://arxiv.org/abs/1710.11041>
- Bollegala, D., Hayashi, K., & Kawarabayashi, K.-I. 2017. "Learning linear transformations between counting-based and prediction-based word embeddings". <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184544>
- Brownlee, J. 2019. *What Are Word Embeddings for Text? Machine Learning Mastery*. [Online] Tersedia: <https://machinelearningmastery.com/what-are-word-embeddings/>
- Brychcín, T. 2020. "Linear transformations for cross-lingual semantic textual similarity". *Knowledge-Based Systems*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.06.027>
- Conneau, A., Lample, G., Ranzato, M., Denoyer, L., & Jégou, H. 2017. *Word Translation Without Parallel Data*. [Online] Tersedia: <http://arxiv.org/abs/1710.04087>
- Curry, D. 2023. *Most Popular Apps (2023) - Business of Apps*. [Online] Tersedia: <https://www.businessofapps.com/data/most-popular-apps/>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. 2018. *BERT: Pre-training of Deep Bidirectional*

- Transformers for Language Understanding*. [Online] Tersedia: <http://arxiv.org/abs/1810.04805>
- Dewantara, A. 2021.. *Bekerja dari Rumah (Work From Home/WFH) : Menghadapi COVID-19 pada PPKM Level 4*. [Online] Tersedia: <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kp-knl-palu/baca-artikel/14156/Bekerja-dari-Rumah-Work-From-HomeWFH-Menghadapi-COVID-19-pada-PPKM-Level-4.html>
- Doval, Y., Camacho-Collados, J., Espinosa-Anke, L., & Schockaert, S. 2018. *Improving Cross-Lingual Word Embeddings by Meeting in the Middle*. [Online] Tersedia: <http://arxiv.org/abs/1808.08780>
- Hewitt, J., & Manning, C. D. 2019. *A Structural Probe for Finding Syntax in Word Representations*. [Online] Tersedia: <https://github.com/john-hewitt/structural-probes>.
- Himayati, A. I. A. 2020. "Regulatritas dan Relasi Green pada Semigrup Transformasi Linear Parsial Injektif dengan Restriksi Range". *Jurnal Karya Pendidikan Matematika*. Vol. 7 (2), pp: 73 -80.
- Indonesia: smartphone users 2026 / Statista. 2023. *Statista Research Department*. [Online] Tersedia: <https://www.statista.com/statistics/266729/smartphone-users-in-indonesia/>
- Joulin, A., Grave, E., Bojanowski, P., & Mikolov, T. 2016. *Bag of Tricks for Efficient Text Classification*. [Online] Tersedia: <http://arxiv.org/abs/1607.01759>
- Kedem, D., Tyree, S., Weinberger, K. Q., Sha, F., & Lanckriet, G. 2012. *Non-linear Metric Learning*.
- Keerthi, S. S., Schnabel, T., & Khanna, R. 2015. *Towards a Better Understanding of Predict and Count Models*. [Online] Tersedia: <http://arxiv.org/abs/1511.02024>
- Khandelwal, R. 2019. *Word Embeddings for NLP. Understanding word embeddings and their... | by Renu Khandelwal | Towards Data Science*. Towards Data Science. [Online] Tersedia: <https://towardsdatascience.com/word-embeddings-for-nlp-5b72991e01d4>
- Levy, O., & Goldberg, Y. 2014. *Neural Word Embedding as Implicit Matrix Factorization*.
- Li, X., Liu, S., Kautz, J., & Yang, M.-H. 2019. "Learning Linear Transformations for Fast Image and Video Style Transfer". 2019 *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.0393>
- Liddy, E. D. 2001. *Natural Language Processing*. [Online] Tersedia: <https://surface.syr.edu/istpub>
- Lidwina, A. 2021.. *Jumlah Unduhan Aplikasi Global Naik 8,7% pada Kuartal I-2021*. Databoks. [Online] Tersedia: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/05/07/jumlah-unduh-an-aplikasi-global-naik-87-pada-kuartal-i-2021>
- Mahdi, I. M. 2022. *Zoom Kuasai Pangsa Platform Konferensi Video Dunia pada 2021*. DataIndonesia.id. [Online] Tersedia: <https://dataindonesia.id/digital/detail/zoom-kuasai-pangsa-platform-konferensi-video-dunia-pada-2021>
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. 2013. *Efficient Estimation of Word Representations in Vector*

- Space*. [Online] Tersedia:
<http://arxiv.org/abs/1301.3781>
- Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. 2013. *Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality*. [Online] Tersedia:
<http://arxiv.org/abs/1310.4546>
- Nurdin, A., Anggo Seno Aji, B., Bustamin, A., & Abidin, Z. 2020. "Perbandingan Kinerja Word Embedding Word2Vec, Glove, Dan Fasttext Pada Klasifikasi Teks". *Jurnal Tekno Kompak*. Vol. 14(2), pp:74.
<https://doi.org/10.33365/jtk.v14i2.732>
- Oktaviana, D., Noviani, E., & Fran, F. 2020. "Transformasi Givens dan Penerapannya". *Bimaster : Buletin Ilmiah Matematika, Statistika Dan Terapannya*. Vol 9, pp: 213–222.
- Pennington, J., Socher, R., & Manning, C. D. 2014. *GloVe: Global Vectors for Word Representation*. [Online] Tersedia:
<https://doi.org/10.3115/v1/D14-1162>
- Peters, M. E., Neumann, M., Iyyer, M., Gardner, M., Clark, C., Lee, K., & Zettlemoyer, L. 2018. *Deep contextualized word representations*. [Online] Tersedia:
<http://arxiv.org/abs/1802.05365>
- Rika Ayu Febrilia, B., Chairun Nissa, I., Pujilestari, & Utami Setyawati, D. 2020. Analisis Keterlibatan Dan Respon Mahasiswa Dalam Pembelajaran Daring Menggunakan Google Classroom Di Masa Pandemi Covid-19. *Fibonacci: Jurnal Pendidikan Matematika Dan Matematika*. Vol. 6(2), pp: 175–184.
- Susanti, R. D., & Effendi, M. M. 2022. Efektivitas Penggunaan Edmodo Dalam Pelaksanaan Ulangan Harian Matematika. *Fibonacci: Jurnal Pendidikan Matematika Dan Matematika*. Vol. 6(1), pp: 9–16.
- Turner, A. (t.t.). 2023. *How Many People Have Smartphones Worldwide*. [Online] Tersedia:
<https://www.bankmycell.com/blog/how-many-phones-are-in-the-world>

