

IMPLEMENTASI TRANSFORMASI GEOMETRI UNTUK MEMBUAT SKETSA GRAFIK FUNGSI KUADRAT

Oleh:

Yudha Fariana¹

Dewi Nurmalitasari²

Keto Susanto³

Universitas PGRI Wiranegara

Alamat: JL. Ki Hajar Dewantara No. 27-29, Tembokrejo, Kec. Purworejo, Kota
Pasuruan, Jawa Timur (67118).

Korespondensi Penulis: yudhafariana9@gmail.com

***Abstract.** The method taught in schools for drawing quadratic function graphs, which requires several steps, is considered less effective as it can be time-consuming and sometimes unnecessary in certain contexts, such as when only a sketch is needed. Geometric transformations can be applied to draw quadratic function graphs and simplify sketching. This study aims to implement geometric transformations to create drawings of quadratic function graphs. This qualitative study describes how to draw quadratic function graphs using geometric transformations. The method used is a literature review, involving a study of relevant literature, mathematical analysis of quadratic functions, and visualization using Geogebra software. Data analysis focuses on identifying patterns and relationships between geometric transformations and changes in quadratic function graphs, as well as validating the results with existing theories. The study aims to enhance understanding of the use of geometric transformations in facilitating the sketching of quadratic function graphs. The results show that drawing quadratic function graphs can be done by applying geometric transformations. Transformations such as translation, reflection, and dilation can be effectively applied to visualize and modify quadratic function graphs. The drawing process begins with the basic graph $y = x^2$, which is then translated, reflected, or dilated depending on the form of the quadratic function.*

Received December 28, 2024; Revised January 09, 2025; January 15, 2025

*Corresponding author: yudhafariana9@gmail.com

IMPLEMENTASI TRANSFORMASI GEOMETRI UNTUK MEMBUAT SKETSA GRAFIK FUNGSI KUADRAT

Keywords: *Geometric Transformation, Graph Sketch, Quadratic Function.*

Abstrak. Metode yang diajarkan di sekolah dalam menggambar grafik fungsi kuadrat, yang mengharuskan melalui beberapa langkah, dinilai kurang efektif karena memakan waktu dan terkadang tidak diperlukan dalam konteks tertentu, seperti saat hanya membutuhkan sketsanya saja. Transformasi geometri dapat diterapkan untuk menggambar grafik fungsi kuadrat serta mempermudah proses pembuatan sketsa grafiknya. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan transformasi geometri untuk membuat sketsa grafik fungsi kuadrat. Penelitian ini merupakan studi kualitatif yang mendeskripsikan cara menggambar grafik fungsi kuadrat menggunakan transformasi geometri. Metode yang digunakan adalah studi pustaka, yang melibatkan kajian literatur, analisis matematis fungsi kuadrat, dan visualisasi menggunakan perangkat lunak Geogebra. Analisis data difokuskan pada identifikasi pola dan hubungan antara transformasi geometri dan perubahan grafik fungsi kuadrat, serta validasi hasil dengan teori yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman tentang penggunaan transformasi geometri dalam memudahkan pembuatan sketsa grafik fungsi kuadrat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk menggambar grafik fungsi kuadrat bisa dilakukan dengan menerapkan transformasi geometri. Transformasi geometri, seperti translasi, refleksi, dan dilatasi dapat diterapkan secara efektif untuk memvisualisasikan dan memodifikasi grafik fungsi kuadrat. Cara menggambaranya yaitu berawal dari grafik dasar yaitu $y = x^2$ yang nantinya akan di translasi, di refleksi, ataupun di dilatasi, tergantung pada bentuk fungsi kuadrat tersebut.

Kata Kunci: Transformasi Geometri, Sketsa Grafik, Fungsi Kuadrat.

LATAR BELAKANG

Pemahaman konsep sangat penting dalam pembelajaran matematika untuk mencapai tujuan pembelajaran. Jika siswa tidak memahami konsep dasar, kemungkinan besar mereka akan kesulitan memahami konten yang lebih kompleks terkait konsep tersebut (Sutarto et al., 2023). Dalam pendidikan matematika, pemahaman tentang fungsi kuadrat merupakan salah satu aspek fundamental yang penting bagi siswa (Brahmana, 2020). Fungsi kuadrat diajarkan secara luas di sekolah menengah dan universitas yang merupakan bagian dari aljabar dan kalkulus.

Selama ini, di dalam pelajaran matematika SMA untuk menggambar fungsi kuadrat guru mengajarkan dengan melalui beberapa langkah baru kita bisa menggambarkan grafiknya. Sedangkan di dalam dunia perkuliahan, pada saat mata kuliah kalkulus dengan pokok bahasan Integral untuk mencari luas daerah terkadang fungsinya ada yang menggunakan fungsi kuadrat, dimana langkah pertama yakni kita harus menggambar sketsa grafiknya terlebih dahulu.

Jika kita menggambar dengan menggunakan beberapa langkah yang sesuai standar urutan yang pernah diajarkan hal tersebut dianggap kurang efektif karena prosesnya terlalu panjang sedangkan kita hanya membutuhkan sketsanya saja. Oleh karena itu penulis mempunyai cara lain yang lebih efektif dan lebih praktis untuk menggambar sketsa grafik fungsi kuadrat tersebut yakni dengan mengimplementasikan materi transformasi geometri.

Transformasi geometri adalah salah satu konsep penting dalam matematika (Siagian et al., 2023). Transformasi geometri terdiri dari translasi (pergeseran), refleksi (pencerminan), dilatasi (perkalian), dan rotasi (perputaran). Dalam konteks pengajaran matematika, transformasi geometri sering digunakan untuk memvisualisasikan dan memahami konsep-konsep matematika yang kompleks (Bima, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan materi transformasi geometri dalam pembelajaran untuk membuat sketsa grafik fungsi kuadrat. Dengan memanfaatkan konsep transformasi geometri diharapkan mampu mengidentifikasi dan mengaplikasikan perubahan pada grafik fungsi kuadrat dengan lebih mudah dan akurat.

KAJIAN TEORITIS

Dalam penelitian ini, kajian teoretis berfokus pada penerapan transformasi geometri dalam mempermudah pembuatan sketsa grafik fungsi kuadrat. Transformasi geometri, seperti translasi, refleksi, dan dilatasi, merupakan alat matematika yang dapat digunakan untuk mengubah dan memodifikasi bentuk grafik fungsi kuadrat. Fungsi kuadrat dalam bentuk umum $y = ax^2 + bx + c$ dapat dipahami lebih mendalam dengan menganalisis bagaimana koefisien a, b, dan c mempengaruhi posisi dan bentuk grafiknya. Dengan memahami hubungan ini, transformasi geometri dapat diterapkan untuk menyederhanakan proses menggambar grafik fungsi kuadrat tanpa harus melalui langkah-langkah manual yang rumit.

IMPLEMENTASI TRANSFORMASI GEOMETRI UNTUK MEMBUAT SKETSA GRAFIK FUNGSI KUADRAT

Selain itu, kajian ini juga menyoroiti relevansi penggunaan perangkat lunak seperti Geogebra dalam memvisualisasikan transformasi geometri pada grafik fungsi kuadrat. Perangkat lunak ini memungkinkan pengguna untuk mengamati secara langsung pengaruh dari berbagai transformasi geometri terhadap grafik fungsi kuadrat. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya memfasilitasi pemahaman konseptual, tetapi juga meningkatkan efisiensi dalam pembuatan sketsa grafik. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pembelajaran matematika dengan menawarkan metode alternatif yang lebih praktis dan intuitif untuk menggambar grafik fungsi kuadrat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif yang mendeskripsikan cara menggambar grafik fungsi kuadrat dengan menggunakan transformasi geometri. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi pustaka, di mana data diperoleh berdasarkan analisis sumber pustaka yang relevan. Penelitian ini dimulai dengan kajian literatur untuk memahami konsep dasar transformasi geometri, termasuk translasi, refleksi, dan dilatasi, serta bagaimana konsep-konsep ini diterapkan pada grafik fungsi kuadrat. Selanjutnya, dilakukan analisis matematis terhadap fungsi kuadrat yang berbentuk umum $f(x) = ax^2 + bx + c$ untuk memahami bagaimana parameter a , b , dan c mempengaruhi bentuk dan posisi grafik.

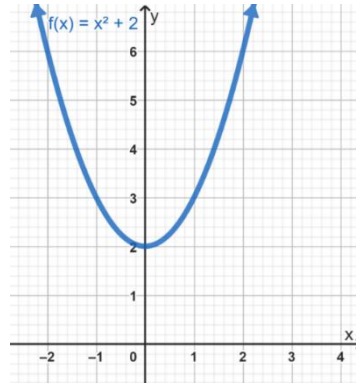
Penelitian ini juga melibatkan pembuatan model grafik dengan menggunakan perangkat lunak grafis yaitu *Geogebra* untuk memvisualisasikan efek dari berbagai transformasi. Data yang diperoleh dari visualisasi ini dianalisis untuk mengidentifikasi pola dan hubungan antara transformasi geometri dan perubahan dalam grafik fungsi kuadrat. Hasil dari analisis ini kemudian dibandingkan dengan teori yang ada untuk memastikan konsistensi dan validitas. Dengan pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang bagaimana transformasi geometri dapat digunakan secara efektif untuk memudahkan proses pembuatan sketsa grafik fungsi kuadrat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menggambar grafik fungsi kuadrat dengan menggunakan transformasi geometri maka kita harus bisa menggambar grafik fungsi kuadrat $y = x^2$. Karena untuk

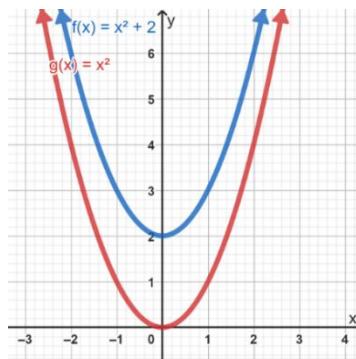
menggambar dengan cara ini semuanya dimulai dengan grafik fungsi $y = x^2$ atau kita sebut grafik dasar yang kemudian dikenai proses transformasi.

1. Menggambar Grafik Fungsi Kuadrat $y = x^2 + m$



Gambar 1. Grafik $y = x^2 + 2$

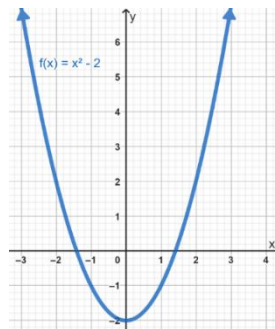
Jika kita amati gambar grafik $y = x^2 + 2$ dan kita bandingkan dengan gambar grafik $y = x^2$.



Gambar 2. Proses Menggambar Grafik $y = x^2 + 2$

Dapat disimpulkan bahwa grafik $y = x^2 + 2$ diperoleh dari grafik $y = x^2$ yang digeser atau ditranslasikan ke atas sejauh 2 satuan.

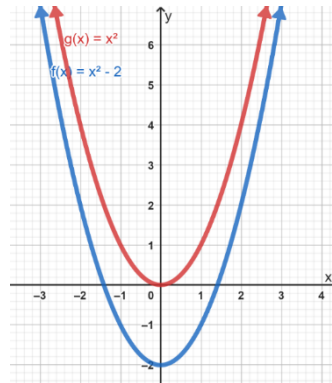
Sekarang coba kita bandingkan dengan gambar berikut ini:



Gambar 3. Grafik $y = x^2 - 2$

IMPLEMENTASI TRANSFORMASI GEOMETRI UNTUK MEMBUAT SKETSA GRAFIK FUNGSI KUADRAT

Selanjutnya kita amati gambar grafik $y = x^2 - 2$ dan kita bandingkan dengan gambar grafik $y = x^2$.



Gambar 4. Proses Menggambar Grafik $y = x^2 - 2$

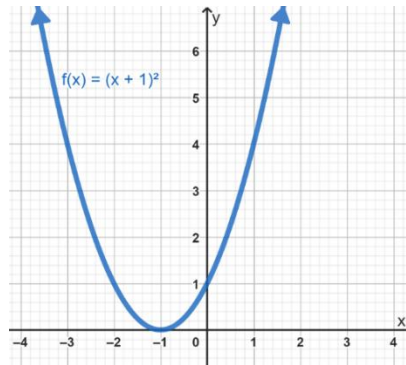
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa grafik $y = x^2 - 2$ diperoleh dari grafik $y = x^2$ yang digeser atau ditranslasikan ke bawah sejauh 2 satuan.

Dari sini dapat disimpulkan bahwa grafik $y = x^2 + m$ adalah hasil proses translasi grafik $y = x^2$ ke arah sumbu y .

Jika $m > 0$, maka grafik $y = x^2$ digeser ke atas sejauh m satuan.

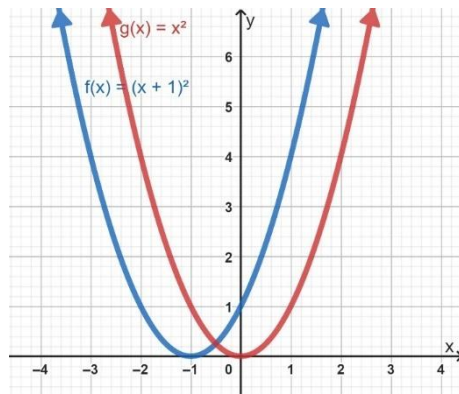
Jika $m < 0$, maka grafik $y = x^2$ digeser ke bawah sejauh $|m|$ satuan.

2. Menggambar Grafik Fungsi Kuadrat $y = (x + n)^2$



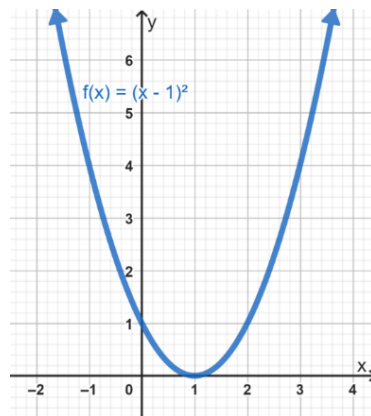
Gambar 5. Grafik $y = (x + 1)^2$

Jika kita amati gambar grafik $y = (x + 1)^2$ dan kita bandingkan dengan gambar grafik $y = x^2$.



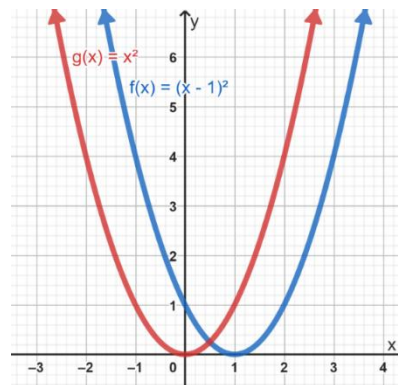
Gambar 6. Proses Menggambar Grafik $y = (x + 1)^2$

Dapat disimpulkan bahwa grafik $y = (x + 1)^2$ diperoleh dari grafik $y = x^2$ yang digeser atau ditranslasikan ke kiri sejauh 1 satuan.



Gambar 7. Grafik $y = (x - 1)^2$

Selanjutnya kita amati gambar grafik $y = (x - 1)^2$ dan kita bandingkan dengan gambar grafik $y = x^2$.



Gambar 8. Proses Menggambar Grafik $y = (x - 1)^2$

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa grafik $y = (x - 1)^2$ diperoleh dari grafik $y = x^2$ yang digeser atau ditranslasikan ke kanan sejauh 1 satuan.

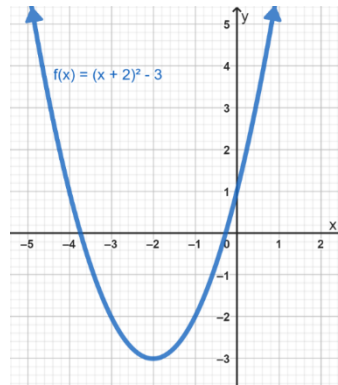
IMPLEMENTASI TRANSFORMASI GEOMETRI UNTUK MEMBUAT SKETSA GRAFIK FUNGSI KUADRAT

Dari sini dapat disimpulkan bahwa grafik $y = (x + n)^2$ adalah hasil proses translasi grafik $y = x^2$ ke arah sumbu x .

Jika $n > 0$, maka grafik $y = x^2$ digeser ke kiri sejauh n satuan.

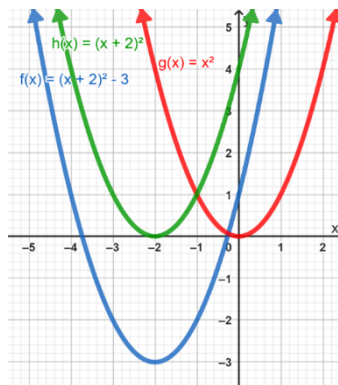
Jika $n < 0$, maka grafik $y = x^2$ digeser ke kanan sejauh $|n|$ satuan.

3. Menggambar Grafik Fungsi Kuadrat $y = (x + n)^2 + m$



Gambar 9. Grafik $y = (x + 2)^2 - 3$

Jika kita amati gambar di atas, yaitu grafik $y = (x + 2)^2 - 3$ diperoleh dari grafik $y = x^2$ yang di geser ke kiri sejauh 2 satuan kemudian digeser ke bawah sejauh 3 satuan.



G

Atau dengan kata lain grafik $y = (x + a)^2 - 3$ diperoleh dari grafik $y = x^2$ yang dikenai 2 kali proses translasi yaitu translasi pertama $T_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 0 \end{pmatrix}$ dilanjutkan $T_2 \begin{pmatrix} 0 \\ -3 \end{pmatrix}$.

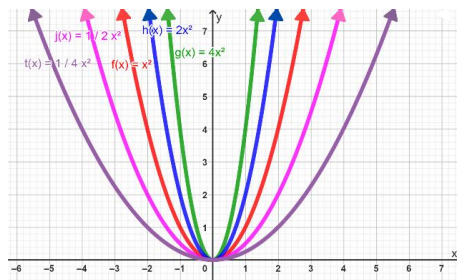
Dari sini dapat disimpulkan bahwa grafik $y = (x + n)^2 + m$ diperoleh dari grafik $y = x^2$ yang dikenai 2 translasi yaitu translasi pertama ke arah sumbu x kemudian dilanjutkan translasi ke arah sumbu y .

Cara menggambaranya yaitu harus digambar satu-satu.

- a. Langkah pertama yaitu dimulai dengan grafik dasar $y = x^2$
- b. Kemudian gambar $y = (x + n)^2$ dengan menggeser grafik $y = x^2$ ke arah sumbu x .
 Jika $n > 0$, maka grafik $y = x^2$ digeser ke kiri sejauh n satuan.
 Jika $n < 0$, maka grafik $y = x^2$ digeser ke kanan sejauh $|n|$ satuan.
- c. Selanjutnya gambar $y = (x + n)^2 + m$, dengan menggeser grafik $y = (x + n)^2$ ke arah sumbu y .
 Jika $m > 0$, maka grafik $y = (x + n)^2$ digeser ke atas sejauh m satuan.
 Jika $m < 0$, maka grafik $y = (x + n)^2$ digeser ke bawah sejauh $|m|$ satuan.

4. Menggambar Grafik Fungsi Kuadrat $y = ax^2$

Grafik Fungsi Kuadrat $y = ax^2$ jika $a > 0$



G

Jika kita amati gambar beberapa grafik diatas, grafik $y = \frac{1}{2}x^2$ lebih lebar dibandingkan grafik $y = x^2$, grafik $y = \frac{1}{4}x^2$ lebih mekar dibandingkan grafik $y = \frac{1}{2}x^2$ dan $y = x^2$. Atau dengan kata lain grafik $y = \frac{1}{2}x^2$ dan $y = \frac{1}{4}x^2$ merupakan hasil dai grafik $y = x^2$ yang mengalami pelebaran. Sedangkan grafik $y = 2x^2$ lebih kurus dibandingkan grafik $y = x^2$, grafik $y = 4x^2$ lebih kurus dibandingkan grafik $y = 2x^2$ dan $y = x^2$. Atau dengan kata lain grafik $y = 2x^2$ dan $y = 4x^2$ merupakan hasil dari grafik $y = x^2$ yang mengalami pengecilan.

Perubahan ukuran grafik ini baik pelebaran atau pengecilan di dalam transformasi geometri dinamakan dengan dilatasi. Q

Dari sini dapat disimpulkan bahwa nilai a yang merupakan koefisien dari x^2 mempengaruhi bentuk grafik $y = x^2$. Semakin besar nilai a maka grafik akan

a

m

b

a

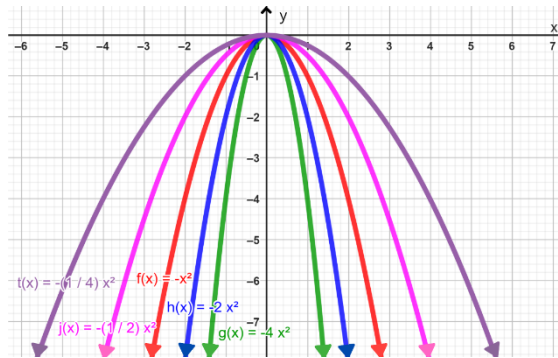
r

-

IMPLEMENTASI TRANSFORMASI GEOMETRI UNTUK MEMBUAT SKETSA GRAFIK FUNGSI KUADRAT

semakin lebih kurus dibandingkan grafik $y = x^2$. Semakin kecil nilai a maka grafik akan semakin lebih lebar dibandingkan grafik $y = x^2$.

Grafik Fungsi Kuadrat $y = ax^2$ jika $a < 0$

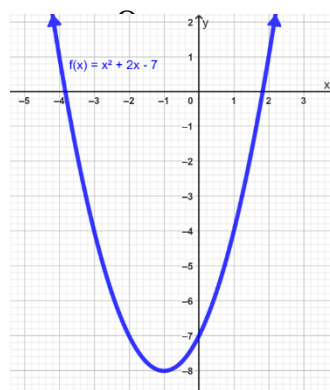


G

Jika kita amati gambar grafik di atas, grafik $y = -x^2$ diperoleh dari grafik $y = x^2$ yang kemudian dibalik atau dicerminkan terhadap sumbu x , begitu juga dengan grafik $y = -4x^2$ diperoleh dari hasil pencerminan $y = 4x^2$ terhadap sumbu x .

Dari sini dapat disimpulkan bahwa untuk menggambar grafik fungsi kuadrat $y = ax^2$ untuk $a < 0$, cara menggambar yaitu dimulai dengan grafik $y = ax^2$, dimana $a > 0$ kemudian refleksikan grafik tersebut atau dicerminkan terhadap sumbu x .

5. Menggambar Grafik Fungsi Kuadrat $y = ax^2 + bx + c$
 - a. Grafik Fungsi Kuadrat $y = ax^2 + bx + c$ jika $a = 1$



Gambar 16. Grafik $y = x^2 + 2x - 7$

Jika kita amati gambar grafik $y = x^2 + 2x - 7$, untuk menggambar grafik tersebut langkah pertama yaitu ubahlah bentuk tersebut menjadi $y = (x + n)^2 + m$ dengan menggunakan melengkapkan kuadrat sempurna.

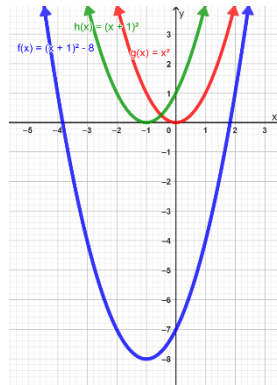
$$y = x^2 + 2x - 7$$

$$y = \left(x + \frac{1}{2} \times 2\right)^2 - \left(\frac{1}{2} \times 2\right)^2 - 7$$

$$y = (x + 1)^2 - 1 - 7$$

$$y = (x + 1)^2 - 8$$

Dilihat dari gambar grafik $y = x^2 + 2x - 7$, grafik tersebut diperoleh dari grafik $y = x^2$ yang digeser ke kiri sejauh 1 satuan kemudian digeser kebawah sejauh 8 satuan.



Gambar 17. Proses Menggambar Grafik $y = x^2 + 2x - 7$

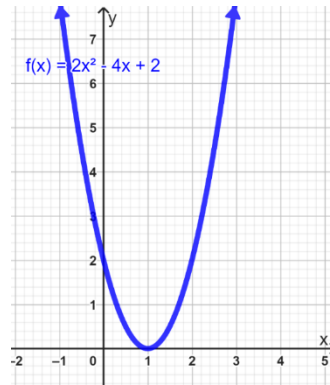
Atau dengan kata lain grafik $y = x^2 + 2x - 7$ diperoleh dari grafik $y = x^2$ yang dikenai 2 kali proses translasi yaitu translasi pertama $T_1 \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \end{pmatrix}$ dilanjutkan $T_2 \begin{pmatrix} 0 \\ -8 \end{pmatrix}$.

Dari sini dapat disimpulkan bahwa untuk menggambar grafik $y = ax^2 + bx + c$ jika $a = 1$ langkah pertama yang harus dilakukan yaitu ubah bentuk fungsi kuadrat tersebut menjadi $y = (x + n)^2 + m$ dengan menggunakan melengkapkan kuadrat sempurna. Selanjutnya kita bisa menggambar grafik $y = (x + n)^2 + m$ sesuai urutan langkah-langkahnya.

- b. Grafik Fungsi Kuadrat $y = ax^2 + bx + c$ jika $a \neq 1$

Untuk menggambar grafik fungsi $y = ax^2 + bx + c$ jika $a \neq 1$, langkah pertama yaitu keluarkan a terlebih dahulu karena syarat untuk melengkapkan kuadrat sempurna yaitu $a = 1$ sehingga menjadi bentuk $y = a \left\{ x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} \right\}$, kemudian kita bisa menggunakan melengkapkan kuadrat sempurna sehingga diperoleh bentuk $y = a \{ (x + n)^2 + m \}$.

IMPLEMENTASI TRANSFORMASI GEOMETRI UNTUK MEMBUAT SKETSA GRAFIK FUNGSI KUADRAT



Gambar 18. Grafik $y = 2x^2 - 4x + 2$

Untuk menggambar grafik $y = 2x^2 - 4x + 2$, langkah pertama yaitu keluarkan a terlebih dahulu kemudian gunakan melengkapkan kuadrat sempurna.

$$y = 2x^2 - 4x + 2$$

$$y = 2\{x^2 - 2x + 1\}$$

$$y = 2\{(x - 1)^2 - 1^2 + 1\}$$

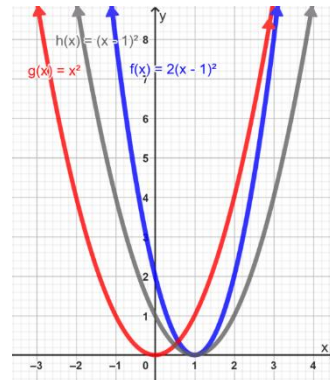
$$y = 2\{(x - 1)^2 - 0\}$$

$$y = 2(x - 1)^2 \leftrightarrow$$

$$y = a(x - x_E)^2 + y_E$$

$$x_E = 1$$

$$y_E = 0$$



Gambar 19. Proses Menggambar Grafik $y = 2x^2 - 4x + 2$

Setelah diperoleh bentuk $y = 2(x - 1)^2$ kita bisa menggambarinya sesuai dengan langkah-langkahnya. Dimulai dari grafik $y = x^2$ yang digeser ke kanan sebanyak 1 satuan atau mengalami proses translasi $T \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ untuk membentuk grafik $y = (x - 1)^2$, kemudian grafik $y = (x - 1)^2$ diperkecil atau di dilatasi untuk memperoleh gambar grafik $y = 2(x - 1)^2$.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Transformasi geometri, seperti translasi, refleksi, dan dilatasi dapat diterapkan secara efektif untuk memvisualisasikan dan memodifikasi grafik fungsi kuadrat. Perubahan koefisien dan konstanta dalam persamaan kuadrat dapat diinterpretasikan sebagai transformasi geometri yang spesifik. Misalnya, perubahan pada koefisien a mempengaruhi lebar dan arah parabola, perubahan koefisien b mempengaruhi posisi puncak parabola, dan perubahan konstanta c menggeser parabola secara vertikal. Dengan memanfaatkan transformasi ini, kita dapat dengan mudah mengamati bagaimana perubahan pada parameter-parameter tersebut mempengaruhi bentuk dan posisi grafik, sehingga bisa mempermudah proses analisis dan pembelajaran.

Saran

Penelitian ini menyarankan integrasi teknologi pendidikan, khususnya aplikasi Geogebra, untuk pembelajaran transformasi geometri dalam menggambar grafik fungsi kuadrat. Penggunaan perangkat lunak ini mempercepat pembelajaran dan meningkatkan interaktivitas serta pemahaman siswa. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi penerapan transformasi geometri pada fungsi lain, serta studi empiris untuk mengevaluasi dampak pendekatan ini terhadap hasil belajar siswa. Dengan melibatkan sampel yang lebih besar, diharapkan metode ini dapat diimplementasikan secara luas dan memberikan manfaat signifikan dalam pendidikan matematika di era digital.

DAFTAR REFERENSI

- Bima, U. M. (2023). *SOFTWARE GEOGEBRA PADA PEMBELAJARAN MATEMATIKA* : 4(1), 33–40.
- Brahmana, K. (2020). Pengaruh Pendekatan Open-Ended Problem Terhadap Berpikir Kritis Matematis Siswa pada Materi Persamaan dan Fungsi Kuadrat di Kelas IX SMP Santo Xaverius 2 Kabanjahe. *Skripsi. Medan: Universitas HKBP Nommensen Medan.*

IMPLEMENTASI TRANSFORMASI GEOMETRI UNTUK MEMBUAT SKETSA GRAFIK FUNGSI KUADRAT

- Habsy, B. A. (2017). *Seni Memahami Penelitian Kualitatif Dalam Bimbingan Dan Konseling : Studi Literatur*. JURKAM: Jurnal Konseling Andi Matappa, 1(2), 90.
<https://doi.org/10.31100/jurkam.v1i2.56>
- Isma'il. (2019). *Diagnosa dan Scaffolding Kesulitan Peserta didik dalam Menggambar Grafik Fungsi Kuadrat*. Universitas Negeri Malang.
- Krisna, E. T. (2023). *Persamaan dan Fungsi Kuadrat Untuk SMP Kelas IX*.
- Kurnianingsih, S. (1997). *Matematika SMU IA Kelas I*. Yudhistira.
- Marecek, L. (2017). *Intermediate Algebra*. OpenStax.
<https://pressbooks.bccampus.ca/algebraintermediate/chapter/graph-quadratic-functions-using-transformations/>
- Murwanto, A. (2022). *Pengembangan LKPD Daring Pendekatan Guided Discovery Berbasis HOTS Materi Persamaan dan Fungsi Kuadrat*. Mosharafa: Jurnal Pendidikan Matematika, 11(3), 391–402.
<https://doi.org/10.31980/mosharafa.v11i3.730>
- Siagian, T. A., Sumardi, H., Bimansah, R., & Nesta, R. A. (2023). *Pengembangan Perangkat Pembelajaran Geometri Transformasi Berbantuan Geogebra untuk Peningkatan Pembelajaran Matematika Kota Bengkulu*. 21(02), 329–342.
- Sutarto, L. M., Handoyo, A. P., & Yohanes, R. S. (2023). *Simulasi Geogebra Untuk Mengeksplorasi Karakteristik Grafik Fungsi Kuadrat*. 4, 86–95.