

Konservasi Menara Pisa pada Tahun 1990 sampai 2001

Ari Sanjaya Lexna, Michael Wijaya, Aghastya Wiyoso

Prodi Desain Interior, Fakultas Seni Rupa dan Desain, Universitas Tarumanagara, Jakarta

Ari.615200059@stu.untar.ac.id, michael.615200078@stu.untar.ac.id, aghastyaa@fsrd.untar.ac.id

Abstrak — Menara Pisa atau yang juga dikenal dengan nama Bell Tower of Pisa adalah salah satu bangunan yang terkenal di dunia internasional karena keunikan strukturnya. Menara Pisa pada abad pertengahan menjadi salah satu bangunan dengan struktur arsitektur yang paling luar biasa di Eropa. Menara Pisa atau yang juga lebih dikenal dengan sebutan The Tower of Pisa (La Torre di Pisa) merupakan bangunan menara lonceng yang terletak di kota Pisa, Italia. Menara Pisa pada awalnya dibuat agar berdiri tegak sebagaimana halnya pada menara lonceng umumnya, akan tetapi ternyata bangunan ini mulai miring tidak lama setelah pembangunannya dimulai pada Agustus 1173. Pada tahun 1990 sampai tahun 2001, kemiringannya dianggap menjadi berbahaya, dan kemudian pemerintah melakukan suatu usaha konservasi. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui upaya konservasi pada Menara Pisa yang dilakukan untuk menjaga agar menara tersebut tidak roboh namun meskipun dengan tetap mempertahankan kemiringannya untuk menarik wisatawan. Metode penelitian yang dilakukan yaitu kualitatif dengan mengumpulkan data-data dari jurnal, artikel yang berkaitan dengan Menara Pisa. Konservasi ini dilakukan karena adanya kekhawatiran dari pemerintah dan pihak-pihak berwenang. Kemudian dikerahkan ahli-ahli arsitek, insinyur bangunan, ahli matematika dan ahli sejarah untuk proyek ini. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa kondisi geografis yang tidak menguntungkan secara struktur bangunan dapat ditangani secara teknologi dan ilmu pengetahuan, bahkan memberikan keunikan pada bangunan sebagaimana ditemukan pada Menara Pisa.

Kata kunci: Arsitektur; Bangunan Miring; Italia; Konservasi ; Menara Pisa

I. PENDAHULUAN

Menara Pisa pada abad pertengahan menjadi salah satu bangunan dengan struktur arsitektur yang paling luar biasa di Eropa. Sebagai menara lonceng di kota Pisa, Italia, Menara atau *The Tower of Pisa (La Torre di Pisa)* masih menjadi objek perdebatan terkait dengan identitas dari arsitek yang membangunnya. Selama bertahun-tahun, Guglielmo dan Bonanno Pisano dianggap bukan pembuat desain Menara Pisa.

Tinggi Menara Pisa mencapai 55,86 meter pada bagiannya yang terendah dan 56,70 meter dari bagian bangunannya yang tertinggi. Menara Pisa memiliki ukuran lebar tembok 4,09 meter dengan pada puncak bangunannya adalah 2,48 meter. Menara Pisa dikenal karena sudut kemiringan bangunannya terhadap

permukaan tanah. Kemiringan tersebut pernah mencapai 5,5 derajat. Setelah melalui proses konservasi, setelah proses stabilisasi kemiringannya menjadi 3,99 derajat. Kemudian, ada tujuh buah lonceng dengan berat yang berbeda. Ketujuh lonceng tersebut menunjukkan nada pada tangga nada (do-re-mi-fa-sol-la-si). Lonceng dengan ukuran yang paling besar dipasang tahun 1655.

Menara Pisa bukan satu-satunya bangunan di Campo dei Miracoli (lapangan pelangi) kota Pisa yang terletak di belakang katedral, melainkan adalah bangunan ketiga yang dibangun. Sejak 1173 Menara Pisa dibangun dalam jangka waktu 200 tahun melalui tiga tahap pembangunan. Tahap pembangunan pertama mencapai hingga proses tiga lapis fondasi pertama, hingga dihentikan th 1178

(Etania, 2023). Bangunan Menara Pisa mulai mengalami perubahan elevasi setelah selesainya pembangunan lapisan fondasi lapisan ketiga. Tanah tempat bangunan Menara Pisa dibangun merupakan jenis tanah yang tidak stabil yang mengakibatkan kemudian pembangunannya terhenti hampir seratus tahun. Selain itu juga terjadi perang sehingga permasalahan yang terjadi di Menara Pisa tidak dapat dilanjutkan prosesnya.



Gambar 1. Foto Menara Pisa dengan Kemiringannya (Sumber: <https://www.kompas.com/stori/image/2023/10/04/140000879/mengapa-menara-pisa-miring-?page=1>)

Tahap pembangunan Menara Pisa kembali dilanjutkan pada th 1272 oleh Giovanni di Simone, seorang arsitek dari Camposanto, hampir seratus tahun setelah proses pembangunan pertama dimulai. Pembangunan proses kedua ini juga ditujukan untuk merespon permasalahan elevasi bangunan yang muncul di Menara Pisa. Kemiringan yang terjadi kemudian diimbangi dengan membuat bangunan dibuat lebih tinggi

pada satu sisi. Namun ternyata solusi ini justru menyebabkan menara miring kearah lain.

Perkembangan dunia selanjutnya di luar dugaan karena terjadi perang yang kembali berlanjut sehingga mengganggu kelanjutan proses pembangunan Menara Pisa. Pada tahun 1319 proses pembangunannya mencapai lantai ketujuh dari jumlah keseluruhannya yang mencapai delapan lantai. Proses selanjutnya adalah penambahan ruang lonceng yang merupakan lantai ke delapan serta pemasangan lonceng-loncengnya diselesaikan pada tahun 1372.

Kemiringan Menara Pisa diketahui hingga mencapai 5,5 derajat, yaitu berjarak 3,9 meter dari seharusnya jika berdiri tegak lurus. Hal ini di luar rencana arsiteknya karena kondisi kekuatan tanah yang tidak stabil di lokasi tersebut tidak diketahui oleh arsitek. Pada saat itu ilmu pengetahuan dan teknologi yang mendukung analisis geoteknik belum mendukung didapatnya informasi kekuatan dukung tanah.

Kemiringan yang terjadi di Menara Pisa merupakan kekhawatiran bagi semua pihak, termasuk pemerintah dan pihak berwenang. Setelah rekayasa arsitektur dilakukan dengan membangun sisi yang turun menjadi lebih tinggi, dilakukan pula beberapa upaya mengembalikan posisi bangunan agar kembali tegak dengan berbagai cara, namun upaya

tersebut tidak berhasil. Kondisi yang tidak terselesaikan tersebut kemudian mengakibatkan keputusan pemerintah Italia th 1964 untuk menjaga agar bangunan tetap dapat berdiri meskipun kemiringan bangunan tidak dapat dikembalikan menjadi tegak. Pada akhirnya kemiringan Menara Pisa yang menimbulkan kekhawatiran tersebut diputuskan sebagai daya tarik bangunan untuk mendatangkan wisatawan.

Perkembangan selanjutnya menunjukkan pada tahun 1990 – 2001 kemiringan Menara Pisa sudah harus dicarikan jalan keluar karena berbahaya dan dapat roboh jika tidak segera ditangani. Perbaikan kemiringan Menara Pisa ditangani dengan melibatkan banyak profesi seperti arsitek, insinyur bangunan, ahli matematika, dan ahli sejarah. Upaya ini menunjukkan hasil positif sehingga struktur Menara Pisa dinyatakan aman bagi pengunjung sehingga dibuka lagi untuk umum pada tahun 2001 untuk kunjungan wisata.

II. METODE

Penelitian pada Menara Pisa ini merupakan penelitian dengan pendekatan sejarah, dengan menerapkan metode penelitian kualitatif. Metode kualitatif merupakan metode penelitian yang menemukan fakta-fakta untuk memahami kondisi tertentu pada konteks waktu tertentu di masyarakat tertentu pula.

Dalam hal ini penelitian tentang Menara Pisa harus memahami konteks masyarakat pada masa pembangunannya, kondisi yang terjadi pada konteks lingkungannya serta kondisi sosial budaya pada masa itu.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu pengumpulan data, pengolahan data dan penyajian data menurut kriteria yang diperlukan untuk mendapatkan kesimpulan dari permasalahan yang dicari jawabannya.

Proses pengumpulan data merupakan tahapan penting dalam penelitian. Menurut Riduwan (2010:51) metode pengumpulan data merupakan salah satu metode dalam proses penelitian untuk mengumpulkan data. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur atau studi dokumen yaitu jenis pengumpulan data yang meneliti dari berbagai sumber data faktual penelitian terdahulu seperti artikel dan jurnal.

Menurut Sutabri (2013:21) pengolahan data adalah proses memberikan makna pada data-data yang dikumpulkan melalui interaksi antar data baik itu dalam bentuk kesamaan, perbedaan, perbandingan, urutan dan lain-lain. Proses pengolahan data memungkinkan data yang dikumpulkan menjadi lebih bermanfaat untuk digunakan pada penelitian lebih lanjut maupun pada penelitian objek lain.

Metode pengolahan data yang diterapkan pada penelitian tentang Menara Pisa ini ialah pengolahan deskriptif. Pengolahan data secara

deskriptif ini bertujuan untuk pengungkapan suatu masalah atau keadaan faktual sebagaimana ditemukan pada kondisi naturalnya serta mengungkapkan fakta-fakta yang ada dengan melalui cara-cara interpretasi atau analisis. Penelitian deskriptif tidak hanya harus mengidentifikasi gejala fisik atau sosial yang diragukan, tetapi juga harus memanfaatkan dan mengembangkan ide-ide ilmiah. Penelitian juga harus mampu menentukan topik penelitian dan teknik penelitian yang tepat untuk menganalisisnya. Hasil penelitiannya bertujuan untuk menunjukkan kondisi aktual objek yang diteliti.

Menurut Sugiyono (2010: 335), analisis data adalah proses menemukan dan menyusun data yang dikumpulkan dari catatan lapangan, catatan, dan dokumentasi secara sistematis. Proses ini mencakup mengorganisasikan data ke dalam kategori, menjabarkan ke dalam unit-unit, melakukan sintesis, menyusun ke dalam pola untuk menentukan mana yang penting dan yang harus dipelajari, dan membuat kesimpulan sehingga mudah dipahami oleh individu dan orang lain. Dalam penelitian ini, teknik analisis data yang digunakan adalah analisis data induktif. Analisis data induktif adalah teknik penarikan kesimpulan yang dimulai dengan fakta-fakta khusus dan kemudian ditarik kesimpulan umum.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

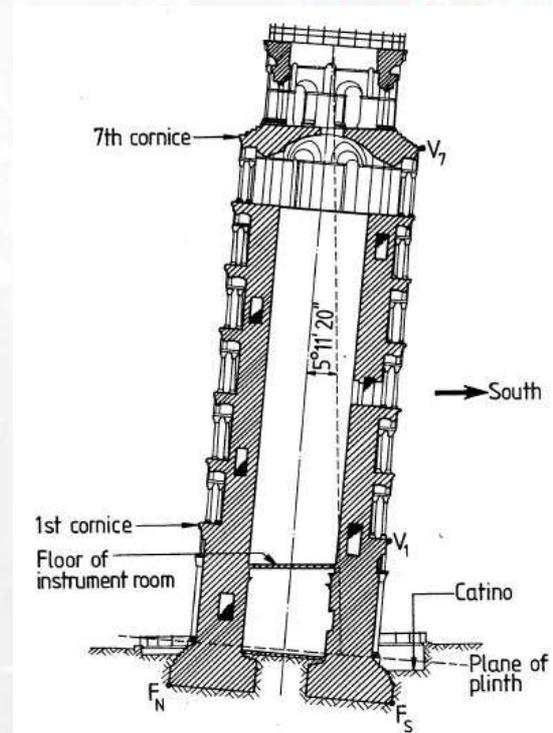
Menara Pisa memiliki struktur batu bata dengan *sylander hollow* yang dikelilingi oleh *colonnades*. Menara Pisa memiliki tinggi 53.3 m dan diameter pondasi 19.6 m. Strukturnya berat 14.500 ton, dan pondasi berada di atas tanah lunak sedimen kiriman dari Sungai Arno (lapisan A pada gambar 3). Di daerah pelabuhan dekat muara sungai, menara ini dulunya berada. Itu sebabnya terdapat deposit estuarine clayey dan sandy silt dengan ketebalan sekitar 10 meter. Di dasar lapisan ini terdapat pasir atas, pasir halus setebal dua meter. Muka air tanah pada lapisan A hanya sekitar 1-2 meter.

Tanah di sisi selatan Menara mengandung lebih banyak tanah liat, menurut hasil CPT dan borelog. CPT (*Cone Penetration Testing*) adalah suatu metode untuk mengidentifikasi kondisi bawah permukaan pada kedalaman 100 kaki atas bawah permukaan. Sementara itu borelog merupakan catatan rinci dari kondisi dan karakteristik lapisan bawah permukaan yang didapatkan dari kegiatan pengeboran. Data yang didapatkan sangat penting untuk eksplorasi geoteknik, dapat membantu arsitek untuk memahami jenis tanah dan bebatuan, dan sifat area yang diteliti. Teknologi dan ilmu pengetahuan inilah yang belum tersedia pada awal pembangunan Menara Pisa sehingga terjadi kemiringan bangunan. Dari data tersebut pada kasus Menara Pisa, kemudian

dapat diambil tindakan berupa kompresi tanah yang lebih di sisi selatan daripada di sisi utara Menara (Burland, 1998).

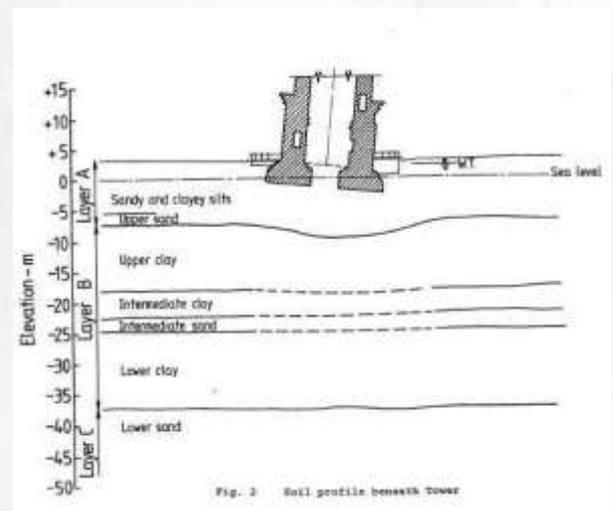
Lapisan B pada Gambar 3 menunjukkan kondisi berupa pasir laut yang sifatnya lembut dan biasanya konsolidasi terletak di bawah *deposit estuarine*. *Deposit Estuarine* adalah endapan muara yang mengacu pada sedimen yang terakumulasi di area muara, yang merupakan perairan yang sebagian tertutup tempat air tawar dari pertemuan sungai dan tercampur dengan air asin dari laut. Endapan ini sering dicirikan oleh campuran sedimen fluvial dan laut dan berperan penting dalam ekologi pesisir dan dinamika sedimen. Hal ini terjadi pada lingkungan yang dipengaruhi oleh perubahan permukaan laut. Tebal pasir laut yang ditemukan di bawah Menara Pisa adalah sekitar 40 meter. Pada lapisan ini, lengkungan dapat dilihat pada arah sejajar pondasi menara, yang menunjukkan bahwa beban menara menyebabkan *settlement* pada lapisan ini sebesar 3 hingga 3,5 meter.

Pada gambar 3 terlihat lapisan B yang merupakan pasir (*upper clay*), yaitu pasir pancone yang sangat sensitif. Di bawah lapisan pasir ini, terdapat lapisan pasir yang padat hingga kedalaman 60 meter. Pasir pancone adalah istilah yang digunakan untuk kondisi lapisan geologi yang terdiri dari pasir yang diselingi tanah liat.



Gambar 2 : Profil Menara Pisa (sumber:

<https://daenggassing.wordpress.com/2012/05/27/dongeng-geoteknik-tentang-menara-miring-pisa/>)



Gambar 3 : Tanah di Bawah Menara (sumber :

<https://daenggassing.wordpress.com/2012/05/27/dongeng-geoteknik-tentang-menara-miring-pisa/>)

Menara ini dibangun pada tahun 1173, kemudian pada tahun 1178 pembangunan lantai keempat dihentikan dan dilanjutkan 90 tahun kemudian. Pada tahun 1272, menara

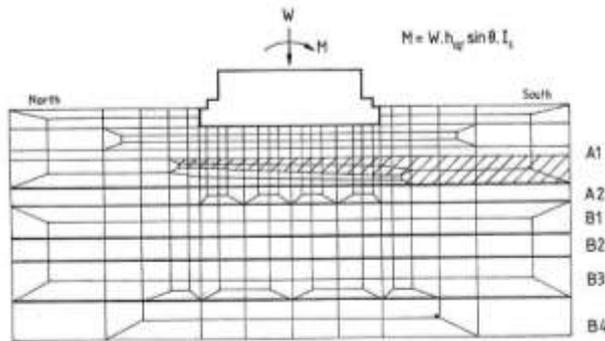
terlihat miring 0,2 derajat ke arah utara. Pada tahun 1278, ketika menara mencapai lantai ke tujuh, ia mulai miring ke selatan sebesar 0,6 derajat. Proses pembangunan dihentikan selama 90 tahun, tetapi pada tahun berikutnya, menara terus miring hingga mencapai 1,6 derajat. Pada tahun 1370, menara menjadi lebih miring ketika dibuat ruang untuk lonceng di puncaknya. Kondisi semakin memburuk bahkan pada tahun 1838, ketika dilakukan penggalian untuk selasar.

Beberapa usaha dilakukan, seperti melakukan *grouting* pada tahun 1934. *Grouting* adalah proses sementasi yang digunakan untuk meningkatkan stabilitas bangunan, tanah, atau batu. Proses ini dilakukan dengan menginjeksikan bahan *grouting* (semen) ke dalam lubang yang dihasilkan oleh mesin bor atau retakan yang tidak stabil. Pori-pori bangunan, tanah, atau batu akan terisi dengan bahan *grouting*. Namun, itu malah menyebabkan pergeseran sebesar 10 mm ke selatan, dan upaya untuk menyedot air tanah di atas pasir menyebabkan pergeseran sebesar 12 mm ke selatan. Ini menunjukkan betapa sensitifnya kondisi tanah dan sulitnya masalah menara ini.

Prof. John Burland menggunakan metode *finite element* untuk menyelesaikan masalah engineering dengan membagi obyek analisis menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Metode ini digunakan untuk simulasi model

tanah pondasi Menara Pisa untuk mengetahui penyebab miringnya menara. Model simulasi tersebut diberi nama ICFEP (*Integrated Construction Framework for Engineering Projects*), dan dasar modelnya adalah konsep *critical state* dan *plastic work-hardening non-linear elastic*. Lapisan tanah dibuat berdasarkan profil tanah yang ditemukan selama penyelidikan tanah. Sebagian besar orang percaya bahwa lapisan tanah dari pasir laut adalah homogen. Tanah di lapisan A di sisi selatan, tetapi karena mengandung lebih banyak tanah, dimodelkan agak kompresibel. Karena adanya iklinasi kemiringan, momen putar juga dimasukkan ke dalam model. Selain itu, simulasi dibuat dengan mempertimbangkan faktor waktu. Termasuk langkah-langkah yang diambil untuk menambah lantai secara bertahap, serta dampaknya terhadap sifat menara dan fondasi.

Untuk memastikan bahwa prediksi kemiringan yang dihasilkan dari simulasi sebanding dengan kemiringan menara yang sebenarnya, simulasi awal dilakukan. Selain itu, proses penggalian yang dilakukan Catino pada tahun 1838, yang menyebabkan beberapa rotasi Menara, disimulasikan.



Gambar 3 : Model Tanah di Bawah Menara (sumber :

<https://daenggassing.wordpress.com/2012/05/27/dongeng-geoteknik-tentang-menara-miring-pisa/>)

Hasil simulasi model ini cukup mirip dengan apa yang terjadi di dunia nyata. Setelah menambah lantai untuk ruang lonceng, menara memiring secara signifikan. Selain itu, ditemukan bahwa proses penggalian tahun 1838 menyebabkan rotasi menara sebesar 0.75 derajat. Kemiringan total yang dihitung berdasarkan simulasi adalah 5.44 derajat, sedikit lebih rendah dari kemiringan yang sebenarnya adalah 5.5 derajat.

Menurut Burland dan Potts (1994), penyebab kemiringan adalah jenis ketidakstabilan kemiringan. Ketika menara mencapai ketinggian kritis, kemiringan yang sedikit dapat menyebabkan ketidakstabilan, dan tanah lunak akan mendorong kemiringan lebih lanjut. Dengan kata lain, pondasi menara di lapisan A mengalami rotasi jangka panjang, tidak seperti di lapisan B (batu pascen), yang masih sangat tahan terhadap gaya luar. Pergerakan secara perlahan dan peningkatan

muka air tanah selama musim hujan memicu proses rotasi.

Beberapa upaya konservasi telah dilakukan untuk mengurangi kemiringan Menara Pisa. Pada tahun 1993–1994, cincin beton yang sebagai penyeimbang dipasang pada sisi utara menara. Metode ini menghasilkan *settlement* 2,5 mm dan pengurangan kemiringan sebesar 52 detik.

Pekerjaan tambahan mencakup elektro-osmosis untuk mengurangi muka tanah di sisi utara, drainase air tanah, dan pemasangan slab beton di sisi utara. Tetapi hasilnya tidak memuaskan. hingga dilakukan pengeboran di bawah tanah, yang berarti mengeluarkan tanah di bawah pondasi menara. Johnston dan Burland (2004) menerapkan metode ini, yang pertama kali diusulkan oleh Terracina (1966).

Teknologi pengeboran yang digunakan untuk mengekstraksi tanah berhasil mengurangi kemiringan sebesar 0.25 derajat. Teknologi ini melibatkan pengeboran batang kosong dengan diameter 168 mm dan kontra rotasi. Selain itu, sumur-sumur dibangun untuk mengatur muka air tanah dalam sistem drainase. Dari tahun 2003 hingga 2008, monitoring telah dilakukan, dan hasilnya cukup memuaskan. Karena ekstraksi tanah, miring menara ke utara menjadi 0.2 detik per tahun, dan *settlement*-nya sama dengan bangunan sekitarnya. *Settlement* dalam geologi adalah penurunan tanah ketika

diberikan beban di atasnya. Menurut pengukuran piezometer, sistem drainase yang dibangun berhasil mengendalikan muka air tanah di sisi utara menara. Piezometer adalah alat pengukur tekanan air pori di dalam tanah pada kedalaman tertentu.

IV. SIMPULAN

Pembahasan tentang proses konservasi Menara Pisa menunjukkan bahwa perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan memegang peranan penting dalam dunia arsitektur. Beberapa data potensi lingkungan pada saat pembangunan pertama Menara Pisa tidak dimungkinkan untuk didapatkan karena tidak tersedianya teknologi dan ilmu geologi yang memadai saat itu.

Kondisi masyarakat juga mempengaruhi perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan. Sebagaimana dijelaskan bahwa perang menghambat penelitian tentang permasalahan yang terjadi pada bangunan Menara Pisa, dan baru dapat dilanjutkan setelah perang mereda.

Kondisi lingkungan yang pada dasarnya tidak memiliki daya dukung tanah yang baik untuk bangunan seperti Menara Pisa mengakibatkan bangunan turun di satu sisinya sehingga bangunan menjadi miring. Upaya konservasi ditujukan untuk mempertahankan kemiringan bangunan yang cukup aman bagi

pengunjung sehingga keunikan struktur miring Menara Pisa justru menjadi daya tarik wisata.

DAFTAR PUSTAKA

- Burland, John B. (2014). *The Stabilization of the Leaning Tower of Pisa*
- Dengtawang. (2012). *Dongeng Geoteknik Tentang Menara Miring Pisa*
<https://www.nafiun.com/2014/06/jenis-dan-metode-pengolahan-data-penelitian.html>
- Etania, R. B, Indriawati, T. (2023) *Mengapa Menara Pisa Miring?*. Kompas.com.
https://www.kompas.com/stori/read/2023/10/04/140000879/mengapa-menara-pisa-miring-?lgm_method=google&google_btn=onetap
- Marliah, Siti. (2019). *7 Fakta Sejarah Tentang Menara Pisa di Italia, Sudah Tahu?*
- Mellissa, Venessa. (2019). *Sejarah dan Fakta Menarik di Balik Menara Pisa*
- Riduwan. (2016). *Skala Pengukuran Variabel-variabel Penelitian*. Alfabeta. Bandung
- Toemon, Sylvana. (2020). *Menara Pisa, Menara Miring yang Pembangunannya Memerlukan Waktu 2 Abad*

Taufik, Muhammad dan Risma Indriya Ludfi.

(2018). *Analisis Penurunan Vertikal
bangunan Bertingkat Kampus ITS
Sukolilo Menggunakan Metode
Terrestrial*