

Penjadwalan Ulang Proyek Rehab Workshop Induk Dengan Metode Precedence Diagram Method (Pdm) Menjadi Ruang Kelas Bbplk Medan Menggunakan Software Penjadwalan (Microsoft Project)

Muhammad Dio Mujahid

¹Program Studi Teknik Sipil, ²Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan
Jl. Mughtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara

muhammaddio@gmail.com

Abstrak

Manajemen proyek merupakan salah satu hal yang sangat fundamental dalam pelaksanaan sebuah proyek konstruksi. Maka dari itu pentingnya menjaga biaya, waktu dan mutu agar sesuai dengan rencana. Dalam manajemen waktu penjadwalan yang baik merupakan kunci sukses terlaksananya sebuah proyek. Sesuai dengan pengamatan yang dilakukan pada proyek rehab workshop induk menjadi ruang kelas BBPLK Medan. Peneliti melakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan metode Precedence Diagram Method (PDM) dan dibantu oleh software penjadwalan yakni, Microsoft Project. Perhitungan tenaga kerja dan durasi masing-masing pekerjaan setelah dilakukan work breakdown structure sangat berpengaruh dalam hal ini. Hasil durasi yang didapatkan setelah dilakukan penjadwalan ulang adalah 133 hari dan terdapat 29 pekerjaan yang berada pada lintasan kritis. Dimana jadwal rencana dari proyek ini berdurasi 147 hari dan memiliki 26 pekerjaan pada lintasan kritis. Penjadwalan ulang yang dilakukan sangat memberikan dampak dengan membuat jadwal yang lebih detail dan juga mengaitkan hubungan ketergantungan tiap pekerjaan sehingga menjadi lebih terstruktur dan meminimalisir pekerjaan yang tertinggal.

Kata Kunci : Manajemen Proyek, Penjadwalan, Precedence Diagram Method, Microsoft Project, Lintasan Kritis.

1. PENDAHULUAN

Proyek adalah kegiatan sementara yang mempunyai tujuan untuk menghasilkan produk dengan kriteria yang telah ditentukan secara jelas dengan alokasi sumber daya yang terbatas dan berlangsung dalam jangka waktu tertentu, dimana biaya yang diperlukan dalam menyelesaikan suatu proyek terdiri dari biaya langsung dan biaya tidak langsung. Jumlah kegiatan dalam suatu proyek yang banyak dan hubungan antar kegiatan dalam suatu proyek yang kompleks menyebabkan dibutuhkan suatu perencanaan penjadwalan pelaksanaan proyek, agar dalam pelaksanaan proyek tidak mengalami kesulitan dalam memenuhi ketentuan yang telah disepakati dalam hal besarnya biaya proyek, durasi proyek, dan kualitas hasil akhir. Penjadwalan untuk proyek yang kompleks tidaklah mudah, diperlukan keahlian khusus dan membutuhkan waktu serta tenaga. Penjadwalan yang dibuat secara optimal menyebabkan biaya dan durasi optimal dapat diperoleh (Yulianto, 2013).

Dalam proses penjadwalan, hubungan antar kegiatan harus dipersiapkan secara matang dan cermat agar pelaksanaan proyek dapat berjalan dengan lancar. Penjadwalan terdiri dari pengalokasian waktu sesuai dengan pelaksanaan setiap pekerjaan sampai proyek selesai dengan cara terbaik. Untuk mencapai yang terbaik. Untuk mencapai optimal maka perencanaan jadwal yang cermat serta faktor eksternal (alam) menjadi hal yang sangat berpengaruh. Seiring perkembangan zaman, penjadwalan dapat dilakukan dengan berbagai Software penjadwalan seperti Microsoft Excel, Microsoft Project, Primavera dan lainnya. Tentunya hal ini dapat memudahkan pekerjaan seorang Scheduler dalam membuat rencana penjadwalan proyek.

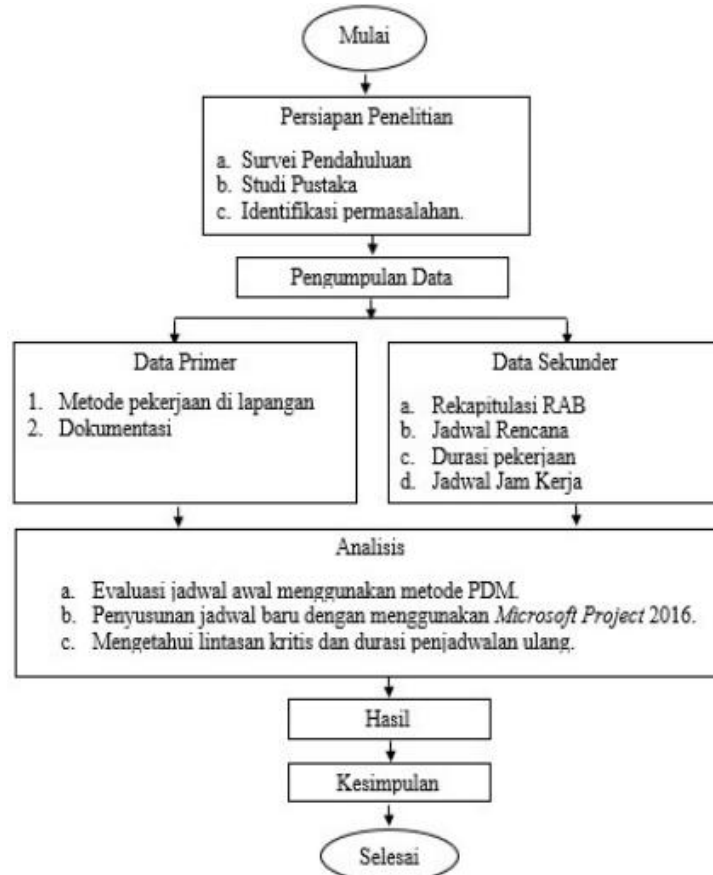
Metode yang digunakan pada penjadwalan ulang Proyek Rehab Workshop Induk Menjadi Ruang Kelas BBPLK Medan yaitu Precedence Diagram Method (PDM) yakni suatu teknik penjadwalan yang berupa rencana jaringan kerja yang menitikberatkan kegiatan pada node atau biasa dikenal sebagai Activity On Node / AON. Dan penjadwalan ulang ini dikombinasikan menggunakan Software khusus penjadwalan yakni Microsoft Project 2016, dimana penggunaan software ini sangat membantu memudahkan penulis untuk membuat rencana penjadwalan ulang dengan mudah dan juga dapat melakukan pemantauan kemajuan di lapangan nantinya.

Precedence Diagram Method (PDM) Menurut (Widiasanti & Lenggogeni, 2013) Precedence Diagramming Method (PDM) merupakan salah satu teknik penjadwalan yang termasuk dalam teknik penjadwalan network planning atau rencana jaringan kerja. Berbeda dengan AOA yang menitikberatkan kegiatan pada anak panah, PDM menitikberatkan kegiatan pada node sehingga kadang disebut juga Activity On Node. Istilah precedence diagramming pertama kali muncul di tahun 1964 pada perusahaan IBM. PDM merupakan versi yang lebih kompleks dari Activity On Node – AON.

Program Microsoft Project merupakan software administrasi proyek yang digunakan untuk melakukan perencanaan, pengelolaan, pengawasan dan pelaporan data proyek. Kemudahan penggunaan dan keleluasaan lembar kerja serta cakupan unsur-unsur proyek menjadikan software ini sangat mendukung proses administrasi sebuah proyek, Microsoft project memberikan unsur-unsur manajemen proyek yang sempurna dengan memadukan kemudahan penggunaan kemampuan dan fleksibilitas sehingga penggunaannya dapat mengatur proyek secara lebih efisien dan efektif (Pratiwi & Bangabua, 2020).

2. METODE PENELITIAN

Berikut ini merupakan bagan alir yang berisi tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini :



Gambar 1. Alur Penelitian

3. HASIL

Penjadwalan PDM Menggunakan Ms. Project 2016

Pekerjaan	Kode	Kegiatan Sebelumnya	Durasi
Pekerjaan persiapan	A	Start	147
Pekerjaan bongkaran	B	Start	21
Pekerjaan tanah	C	B - 7 hari	21
Pondasi strauss pile	D1	C - 7 hari	21
Pile cap	D2	D1 - 14 hari	14
Pondasi tapak	D3	D2 - 7 hari	14
Poer kolom	D4	D3 - 7 hari	21

Pondasi sloof	D5	D2 - 7 hari	14
Pekerjaan kolom	E	D5	21
Pekerjaan pembalokan	F	E - 14 hari	21
Kanopi daag, elev + 2.900	G1	F - 14 hari	14
Plat atap daag teras samping	G2	G1, G3, G4	7
Kanopi daag, elev + 8.500	G3	F - 14 hari	14
Meja daag wastafel	G4	G1 - 7 hari	7
Plat lantai workshop	G5	E - 14 hari	35
Konstruksi baja bangunan utama	H1	D5, E(SS)	70
Konstruksi kanopi baja pintu masuk kanan & belakang	H2	H1 - 49 hari	21
Pekerjaan penutup atap & dudukan lisplank spandek	H3	H2- 14 hari	21
Pot bunga depan	I1	H2	14
Pot bunga pintu samping	I2	I1	21
Dinding utama gedung	I3	H2, F	35
Finishing kolom samping	I4	I3 - 7 hari	14
Rolag bata tangga teras depan	I5	I4 - 14 hari	7

Rolag bata tangga teras samping	I6	I4 - 14 hari	7
Pekerjaan pintu & jendela	J1	I3 - 28 hari	28
Tulisan plat galvalum	J2	R - 14 hari	7
Pekerjaan penutup lantai & dinding	K	H3, G5	28
Pekerjaan plafond	L	H3 - 7 hari	21
Pekerjaan elektrikal	M	L - 7 hari	28
Pekerjaan exhaust fan	N	M - 14 hari	14
Instalasi petir	O1	L - 7 hari	7
Instalasi perkabelan	O2	L - 7 hari	14
Instalasi grounding	O3	L - 7 hari	7
Pekerjaan plumbing dan sanitary	P	K - 14 hari	21
Pekerjaan bagian penutup saluran & jembatan	Q	K - 21 hari	28
Pekerjaan pengecatan	R	I3 - 14 hari, G2	21
Pekerjaan akhir	S	I2, 14 – Hari, 15, 16, J1, J2, M – 7 Hari, N – 7 Hari, O1, O2, O3, P – 7 Hari, Q – 7 Hari, R - 7 hari	14

Perhitungan Maju PDM

Kode	Kegiatan Sebelumnya	Durasi	Perhitungan Maju	
			ES	EF
A	Start	147	0	147
B	Start	21	0	21
C	B - 7 hari	21	14	35
D1	C - 7 hari	21	28	49
D2	D1 - 14 hari	14	35	49
D3	D2 - 7 hari	14	42	56
D4	D3 - 7 hari	21	49	70
D5	D2 - 7 hari	14	42	56
E	D5	21	56	77
F	E - 14 hari	21	63	84
G1	F - 14 hari	14	70	84
G2	G1, G3, G4	7	84	91
G3	F - 14 hari	14	70	84
G4	G1 - 7 hari	7	77	84
G5	E - 14 hari	35	63	98
H1	D5, E(SS)	70	56	126
H2	H1 - 49 hari	21	77	98
H3	H2 - 14 hari	21	84	105
I1	H2	14	98	112

I2	I1	21	112	133
I3	H2, F	35	98	133
I4	I3 - 7 hari	14	216	140
I5	I4 - 14 hari	7	126	133
I6	I4 - 14 hari	7	126	133
J1	I3 - 28 hari	28	105	133
J2	R - 14 hari	7	126	133
K	H3, G5	28	105	133
L	H3 - 7 hari	21	98	119
M	L - 7 hari	28	112	140
N	M - 14 hari	14	126	140
O1	L - 7 hari	7	112	119
O2	L - 7 hari	14	112	126
O3	L - 7 hari	7	112	119
P	K - 14 hari	21	119	140
Q	K - 21 hari	28	112	140
R	I3 - 14 hari, G2	21	119	140
S	I2, I4 – Hari, I5, I6, J1, J2, M – 7 Hari, N – 7 Hari, O1, O2, O3, P – 7 Hari, Q – 7 Hari, R - 7 hari	14	133	147

Perhitungan Mundur PDM

Kode	Kegiatan Sebelumnya a	Durasi	Perhitungan Mundur	
			LS	LF
A	Start	147	0	147
B	Start	21	0	21
C	B - 7 hari	21	14	35
D1	C - 7 hari	21	28	49
D2	D1 - 14 hari	14	35	49
D3	D2 - 7 hari	14	42	56
D4	D3 - 7 hari	21	49	70
D5	D2 - 7 hari	14	42	56
E	D5, E(SS)	21	63	84
F	E - 14 hari	21	77	98
G1	F - 14 hari	14	98	112
G2	G1, G3, G4	7	112	119
G3	F - 14 hari	14	98	112
G4	G1 - 7 hari	7	105	112
G5	E - 14 hari	35	70	105
H1	D5	70	56	126
H2	H1 - 49 hari	21	77	98
H3	H2- 14 hari	21	84	105
I1	H2	14	98	112
I2	I1	21	112	133
I3	H2, F	35	98	133
I4	I3 - 7 hari	14	126	140
I5	I4 - 14 hari	7	126	133
I6	I4 - 14 hari	7	126	133
J1	I3 - 28 hari	28	105	133
J2	R - 14 hari	7	126	133
K	H3, G5	28	105	133
L	H3 - 7 hari	21	98	119
M	L - 7 hari	28	112	140
N	M - 14 hari	14	126	140
O1	L - 7 hari	7	126	133
O2	L - 7 hari	14	119	133
O3	L - 7 hari	7	126	133
P	K - 14 hari	21	119	140

Q	K - 21 hari	28	112	140
R	I3 - 14 hari, G2	21	119	140
S	I2, 14 – Hari, 15, 16, J1, J2, M – 7 Hari, N – 7 Hari, O1, O2, O3, P – 7 Hari, Q – 7 Hari, R - 7 hari	14	133	147

Lintasan Kritis

Setelah melakukan perhitungan maju dan perhitungan mundur. Selanjutnya dilakukan perhitungan jalur kritis. Kriteria jalur kritis dengan metode PDM ialah apabila memenuhi salah satu syarat di bawah ini :

1. Saat mulai paling awal dan paling akhir sama, $ES = LS$
2. Saat selesai paling awal dan paling akhir harus sama $EF = LF$
3. Periode waktu kegiatan yaitu sama dengan selisih waktu selesai paling akhir dengan waktu mulai paling awal $LF - EF = 0$.

Kode Kegiatan	(LF-EF)	Status
A	0	Kritis
B	0	Kritis
C	0	Kritis
D1	0	Kritis
D2	0	Kritis
D3	0	Kritis
D4	0	Kritis
D5	0	Kritis
E	7	Tidak
F	14	Tidak
G1	28	Tidak
G2	28	Tidak
G3	28	Tidak
G4	28	Tidak
G5	7	Tidak
H1	0	Kritis
H2	0	Kritis
H3	0	Kritis

I1	0	Kritis
I2	0	Kritis
I3	0	Kritis
I4	0	Kritis
I5	0	Kritis
I6	0	Kritis
J1	0	Kritis
J2	0	Kritis
K	0	Kritis
L	0	Kritis
M	0	Kritis
N	0	Kritis
O1	14	Tidak
O2	7	Tidak
O3	14	Tidak
P	0	Kritis
Q	0	Kritis
R	0	Kritis
S	0	Kritis

4. PEMBAHASAN

Penjadwalan PDM Ulang Menggunakan Ms. Project 2016 Menghitung Jumlah Tenaga Kerja dan Durasi Pekerjaan

Tenaga kerja adalah semua orang yang terlibat dalam pelaksanaan suatu proyek, mulai dari yang tenaga ahli/profesional sampai mandor/buruh. Kebutuhan tenaga kerja dapat diketahui dengan menggunakan pers. 4.1 dibawah ini :

$$\text{Jumlah tenaga kerja} = \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Jumlah koefisien}}$$

Contoh perhitungan jumlah tenaga kerja

1. Pondasi Strauss Pile
 Volume = 81,13 M
 Jumlah koefisien = 0,83
 Jumlah tenaga kerja = $81,13 / 0.83 = 68$ orang

Secara keseluruhan untuk perhitungan jumlah tenaga kerja untuk tiap-tiap pekerjaan dapat dilihat pada tabel berikut :

Perhitungan Maju PDM

Kode	Kegiatan Sebelumnya	Durasi	Perhitungan Maju	
			ES	EF
A	Start	13 3	0	133

B	Start	15	0	15
C	B	2	16	18
D	C	8	19	27
E1	D - 4 hari	8	23	31
E2	E1 - 4 hari	8	27	35
E3	E1 - 4 hari	8	27	35
E4	E2, E3	6	36	42
E5	E4 (SS)	7	36	43
F	E4, E5	16	44	60
G	F - 7 hari	13	53	66
H1	G	11	67	78
H2	H1	6	79	85
H3	H4	4	85	89
H4	G	17	67	84
I1	F	32	61	93
I2	I1 - 16 hari	6	77	83
I3	I2	10	84	94
J1	I3 - 2 hari	21	92	113
J2	J1 (SS)	6	92	98
J3	J2 (SS)	6	92	98
J4	J3 (SS)	6	92	98
J5	J4 (SS)	3	92	95
K1	J1	13	114	127
K2	S - 7 Hari	7	120	127
L1	I3 - 6 hari	7	88	95
L2	L1 (SS)	7	88	95
L3	L2 (SS)	7	88	95
M	L1, L2, L3	14	96	110
N	M	16	111	127
O	N - 5 Hari	5	122	127
P	H4	12	85	97
Q	P	12	98	110
R	Q (SS)	16	98	114
S	J1, R	12	115	127
T	H2, H3, J2, J3, J4, J5, K1, K2, O, S	5	128	133

Perhitungan Mundur PDM

Kode	Kegiatan Sebelumnya	Durasi	Perhitungan Mundur	
			LS	LF
A	Start	13	0	133
B	Start	15	0	15
C	B	2	16	18
D	C	8	19	27
E1	D - 4 hari	8	23	31
E2	E1 - 4 hari	8	27	35
E3	E1 - 4 hari	8	27	35
E4	E2, E3	6	36	42
E5	E4 (SS)	7	36	43
F	E4, E5	16	44	60
G	F - 7 hari	13	53	66
H1	G	11	109	120
H2	H1	6	121	127
H3	H4	4	123	127
H4	G	17	67	84
I1	F	32	61	93
I2	I1 - 16 hari	6	77	83
I3	I2	10	84	94
J1	I3 - 2 hari	21	92	113
J2	J1 (SS)	6	121	127
J3	J2 (SS)	6	121	127
J4	J3 (SS)	6	121	127
J5	J4 (SS)	3	124	127
K1	J1	13	114	127
K2	S - 7 Hari	7	120	127
L1	I3 - 6 hari	7	88	95
L2	L1 (SS)	7	88	95
L3	L2 (SS)	7	88	95
M	L1, L2, L3	14	96	110
N	M	16	111	127
O	N - 5 Hari	5	122	127
P	H4	12	85	97
Q	P	12	98	110

R	Q (SS)	16	98	114
S	J1, R	12	115	127
T	H2, H3, J2, J3, J4, J5, K1, K2, O, S	5	128	133

Lintasan Kritis

Setelah melakukan perhitungan maju dan perhitungan mundur. Selanjutnya dilakukan perhitungan jalur kritis. Kriteria jalur kritis dengan metode PDM ialah apabila memenuhi salah satu syarat di bawah ini :

1. Saat mulai paling awal dan paling akhir sama, $ES = LS$
2. Saat selesai paling awal dan paling akhir harus sama $EF = LF$
3. Waktu selesai paling akhir dengan waktu mulai paling awal $LF - EF = 0$.

Kode Kegiatan	(LF-EF)	Status
A	0	Kritis
B	0	Kritis
C	0	Kritis
D	0	Kritis
E1	0	Kritis
E2	0	Kritis
E3	0	Kritis
E4	0	Kritis
E5	0	Kritis
F	0	Kritis
G	0	Kritis
H1	42	Tidak
H2	42	Tidak
H3	38	Tidak
H4	0	Kritis
I1	0	Kritis
I2	0	Kritis
I3	0	Kritis
J1	0	Kritis
J2	29	Tidak
J3	29	Tidak
J4	29	Tidak
J5	32	Tidak
K1	0	Kritis

K2	0	Kritis
L1	0	Kritis
L2	0	Kritis
L3	0	Kritis
M	0	Kritis
N	0	Kritis
O	0	Kritis
P	0	Kritis
Q	0	Kritis
R	0	Kritis
S	0	Kritis
T	0	Kritis

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir Penjadwalan Ulang Proyek Rehab Workshop Induk menjadi Ruang Kelas BBPLK Medan dengan Metode Precedence Diagram Method (PDM) menggunakan software penjadwalan (Microsoft Project 2016) maka dapat disimpulkan bahwa Dari hasil perhitungan durasi menggunakan Microsoft Project 2016 pada Proyek Rehab Workshop Induk menjadi Ruang Kelas BBPLK Medan diperoleh durasi normal 147 hari kerja.

Setelah melakukan penjadwalan ulang pada durasi kegiatan normal proyek, maka dapat diketahui durasi kegiatan normal baru menjadi 133 hari kerja dari 147 hari kerja rencana. 3. Setelah dilakukan penjadwalan ulang terdapat 29 pekerjaan yang berada pada lintasan kritis.

REFERENSI

- Dary, R. W., Frapanti, S., & Utami, C. (2019). Evaluasi Kekakuan Batu Bata Lubuk Pakam Pada Bangunan Bertingkat Dengan Analisis Pushover. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 11-15.
- Febriana, W., & Aziz, U. A. (2021). Analisis Penjadwalan Proyek Dengan Metode PERT Menggunakan Microsoft Project 2016. *Jurnal Ilmu Teknik Sipil Surya Beton*, 5(1), 37-45.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Frapanti, S. (2018). Analisa Portal yang Memperhitungkan Kekakuan Dinding Bata dari Beberapa Negara Pada Bangunan Bertingkat Dengan Pushover. *Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Hadipramana, J., Aguslinar, A., Pratiwi, D. N., & Ginting, N. W. (2019, October). Program Pendampingan Remaja Terhadap Dampak Teknologi Digital Terhadap Gaya Hidup di Desa Sidodadi Ramunia, Kabupaten Deli Serdang. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* (Vol. 1, No. 1, pp. 378-383).
- Harahap, M., Siregar, G., & Riza, F. V. (2021). Mapping The Potential Of Village Agricultural Social Economic Improvement Efforts In Lubuk Kertang Village Kecamatan Berandan Barat Kabupaten Langkat. *JASc (Journal of Agribusiness Sciences)*, 4(1), 8-14.

- Kiswati, S., & Chasanah, U. (2019). Analisis Konsultansi Manajemen Konstruksi Terhadap Penerapan Manajemen Waktu Pada Pembangunan Rumah Sakit Di Jawa Tengah. *Neo Teknik*, 5(1).
- Kustamar, P., E. H., & Nurcahyo, D. F. (2012). Analisis Waktu Pengendalian Proyek Pembangunan Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa) Di Kota Pasuruan Jawa Timur. *Jurnal Info Manajemen Proyek*, 3, 1–12.
- Mohamad, N., Zulaika, M. S., Samad, A. A. A., Goh, W. I., Hadipramana, J., & Wirdawati, A. (2016). Fresh State and Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Incorporating High Volume Fly Ash. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 47, p. 01001). EDP Sciences.
- Pramana, J. H., Samad, A. A., Zaidi, A. M. A., & Riza, F. V. (2010). Preliminary study on lightweight concrete under ballistic loading. *European Journal of Scientific Research*, 44(2), 285-299.
- Rani, H. A. (2016). Manajemen Proyek Kontruksi, Edisi I. Penerbit Deepublish. Soeharto, I. W. (1999). Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional). Penerbit Erlangga.
- Rashidi, A., Majid, T. A., Fadzli, M. N., Faisal, A., & Noor, S. M. (2017, October). A Comprehensive Study on the Influence of Strength and Stiffness eccentricities to the On-plan Rotation of Asymmetric Structure. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1892, No. 1, p. 120013). AIP Publishing LLC.
- Rhini, W. D., & Sri, F. (2019, November). The flexural buckling comparison between open and close cross sections in high column structure. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 674, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Riza, F. V., Rahman, I. A., & Zaidi, A. M. A. (2011). Preliminary study of compressed stabilized earth brick (CSEB). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9), 6-12.
- Sri¹, F., Zulkarnain¹, F., & Asfiati¹, S. (2020). *The Comparison of Brick as a Load and a Structure with Non-Linear Analysis of Soft Storey Behaviour in Multi-storey Buildings* (No. 4387). EasyChair.
- Winda Larasati Ramadhani, & Tuti Sumarningsih. (2018). Percepatan Jadwal Dengan Sistem Shift Menggunakan Analisa PDM (Precedence Diagramming Method). *Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia*.
- Zulkarnain, F. (2021). [BUKU] Pemindahan Tanah Mekanis dan Peralatan Konstruksi. *KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN*.
- Zulkarnain, F. (2018, March). Development of k-300 concrete mix for earthquake-resistant Housing infrastructure in indonesia. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 970, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.