

**RANCANG BANGUN *STUB SETTING FIXTURE* PADA
INSTALASI MENARA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI
(SUTT)**

***Design and Make Stub Setting Fixture on High Voltage
Overhead Transmission Line Tower Installation
(SUTT)***

**MUHAMMAD REZA BUANAPUTRA
D022192004**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

PENGAJUAN TESIS

RANCANG BANGUN STUB SETTING FIXTURE PADA INSTALASI MENARA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT)

Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Ilmu Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD REZA BUANAPUTRA
D022192004**

Kepada



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN STUB SETTING FIXTURE PADA INSTALASI MENARA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT)

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD REZA BUANAPUTRA
D022192004

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 27 Desember 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Nasruddin Azis, M.Si
NIP. 19611017 198503 1 004

Pembimbing Pendamping



Dr. Hairul Arsyad, ST., MT
NIP. 19750322 200212 1 001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Ir. Muhammad Isran Ramli,
IPM, ASEAN, Eng
9730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT
NIP. 197911122008122002



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Muhammad Reza Buanaputra
Nomor mahasiswa : D022192004
Program Studi : Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa tesis yang berjudul “Rancang Bangun *Stub Setting Fixture* pada Instalasi Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Ir. Nasruddin Azis, MT. sebagai pembimbing utama dan Dr. Hairul Arsyad, ST., MT. sebagai pembimbing pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari tesis ini telah diseminarkan pada konferensi internasional “The 1st International Conference on Research in Engineering and Science Technology (IC-REST) 2023”, dan akan dipublikasikan oleh Scientific.net (terindeks Scopus) sebagai artikel dengan judul “Stub setting fixture prototype on high voltage overhead transmission line tower installation”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 5 Januari 2024

Yang menyatakan



Muhammad Reza Buanaputra



UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga karya tulis yang berisi penelitian dengan judul “Rancang Bangun *Stub Setting Fixture* pada Instalasi Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)” ini dapat diselesaikan.

Terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya ucapkan kepada Dr. Ir. Nasruddin Azis, MT. selaku pembimbing I dan Dr. Hairul Arsyad, ST., MT. selaku pembimbing II atas segala pengorbanan waktu, tenaga, dan pikiran yang begitu besar dalam sumbangsih terhadap penelitian ini. Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., dekan Departemen Teknik Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ketua Program Studi Teknik Mesin Dr. Eng Novriany Amaliyah, ST., MT., dan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister, serta para dosen, staf administrasi, dan rekan-rekan Mahasiswa dalam memberikan dukungan selama penelitian. Tak lupa pula saya ucapkan terima kasih kepada kedua orang tua tercinta atas peran dan dukungannya selama saya menempuh pendidikan dan penyelesaian tulisan ini.

Tulisan ini menyangkut tentang pembuatan dan analisis rancangan *stub setting fixture* pada instalasi menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). Saya harap dari penelitian ini dapat diperoleh hasil yang optimal sehingga dapat bermanfaat, baik kepada diri pribadi, universitas, lingkungan, dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Saya sadar bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diperlukan demi perkembangan tulisan dan ilmu pengetahuan di masa depan. Semoga tulisan saya ini dapat bermanfaat untuk kita terutama demi kemajuan ilmu pengetahuan.

Makassar, Januari 2024

Muhammad Reza Buanaputra



ABSTRAK

MUHAMMAD REZA BUANAPUTRA. **Rancang Bangun Stub Setting Fixture pada Instalasi Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)** (dibimbing oleh Nasruddin Azis and Hairul Arsyad)

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) merupakan menara saluran listrik udara yang digunakan untuk menghantarkan listrik bertegangan 35 kV hingga 230 kV. Pada instalasi struktur menara SUTT salah satu hal utama yang perlu diperhatikan adalah pemasangan *stub* yang dapat mempengaruhi kekokohan menara SUTT. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menganalisis kinerja *stub setting fixture* pada instalasi Menara SUTT. Proses penelitian diawali dengan observasi data dan studi literatur pemasangan *stub* di proyek pemasangan SUTT 150kV 2xZebra Andolo – Kasipute Sec.1 PT. PLN Persero UIP Sulawesi Bagian Selatan, kemudian merancang komponen *stub setting fixture*, analisis data rancangan, proses pembuatan alat, dan melakukan pengujian penggunaan dan kinerja *stub setting fixture* di ruang lingkup instalasi SUTT. Hasil analisis struktur komponen balok pada rancangan alat berupa tegangan geser dan tegangan lentur yang dialami tidak melewati batas tegangan-tegangan material komponen tersebut, analisis elemen mesin pada komponen yang digunakan mampu menahan beban-beban yang dialami oleh komponen, serta pengamatan terhadap alat yang dibuat tidak mengalami perubahan fisik dan mempengaruhi konstruksi komponen satu sama lain saat dan setelah alat diaplikasikan pada instalasi *stub* SUTT. Perancangan dan pembuatan *stub setting fixture* menghasilkan alat yang dapat diaplikasikan dan berfungsi dengan baik, serta memiliki kinerja yang telah memenuhi syarat dan kriteria dalam perancangan, pembuatan serta penggunaan pada instalasi Menara SUTT. Diharapkan adanya perbaikan dan pengembangan alat berupa bentuk konstruksi, pengoperasian yang lebih efisien, serta dapat menggunakan kontrol analog maupun digital dari segi pengoperasian alat pada pengembangan dan penelitian berikutnya.

Kata kunci: *fixture*, menara, *setting*, *stub*, SUTT



ABSTRACT

MUHAMMAD REZA BUANAPUTRA. **Design and Make Stub Setting Fixture on High Voltage Overhead Transmission Line Tower Installation (SUTT)** (supervised by Nasruddin Azis and Hairul Arsyad).

High voltage overhead transmission line (SUTT) is transmission tower used to conduct electricity with a voltage of 35 kV to 230 kV. In the installation of the SUTT tower structure, one of the main things that need to be considered is the installation of stubs that can affect the sturdiness of the SUTT tower. This research aims to design, make, and analyze the performance of stub setting fixture on SUTT Tower installations. The research process began with data observation and literature study of stub installation in the SUTT 150kV 2xZebra Andolo – Kasipute Sec.1 installation project of PT. PLN Persero UIP South Sulawesi, then designed the stub setting fixture components, analyzed design data, the tool manufacturing process, and tested the use and performance of the stub setting fixture within the scope of the SUTT installation. The results of the analysis of the structure of beam components in the design of the tool in the form of shear stresses and bending stresses experienced do not exceed the limits of the material stresses of the components, analysis of machine elements on the components used to withstand the loads experienced by the components, and observations of the tools made do not experience physical changes and affect the construction of component one as and after the tool is applied to the SUTT stub installation. The design and manufacture of stub setting fixtures produce tools that can be applied and function properly, and have performance that has met the requirements and criteria in the design, manufacture and use of SUTT Tower installations. It is expected that there will be improvements and development of tools in the form of construction, more efficient operation, and can use analog and digital controls in terms of tool operation in subsequent development and research.

Keywords: fixture, tower, setting, stub, SUTT



DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL.....	i
PENGAJUAN TESIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Saluran Listrik Udara	7
2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)	8
2.2.1 <i>Current carrying</i> (pembawa arus)	8
2.2.2 <i>Insulasi</i> (<i>insulation</i>)	8
2.2.3 <i>Struktur</i> (<i>structure</i>).....	9



2.2.4 Penghubung (<i>junctions</i>)	17
2.3 <i>Stub Setting</i> pada Instalasi Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).....	18
2.4 Teori Dasar Perancangan	22
2.4.1 Pengertian perancangan.....	22
2.4.2 Kriteria perancangan.....	22
2.4.3 Prosedur dalam perancangan.....	22
2.4.4 Tujuan perancangan	23
2.4.5 Pertimbangan dalam suatu perancangan	23
2.4.6 Standar, kode, dan peraturan pemerintah dalam desain	24
2.5 Konsep Dasar Perancangan	24
2.6 <i>Fixture</i>	25
2.7 <i>Stub Setting Fixture</i>	26
2.8 Analisis Batang Balok (<i>Beam</i>) yang Digunakan.....	26
2.8.1 Tegangan lentur (<i>bending</i>).....	26
2.8.2 Tegangan geser (<i>shear stress</i>) penampang persegi panjang.....	28
2.9 Analisis Elemen Mesin yang Digunakan pada <i>Stub Setting Fixture</i> ...	30
2.9.1 Sambungan ulir.....	30
2.9.2 Span skrup (<i>turnbuckle</i>).....	35
2.9.3 Sambungan Las.....	37
BAB III METODE PENELITIAN.....	44
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	44
3.2 Alat dan Bahan	44
3.2.1 Alat.....	44
3.2.2 Bahan.....	45
3.2.3 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	46
3.2.4 Prosedur Penelitian.....	47



3.5 Teknik Analisis Data	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1 Perancangan, Analisis, dan Pembuatan <i>Stub Setting Fixture</i>	48
4.1.1 Perancangan konstruksi komponen <i>stub setting fixture</i>	48
4.1.2 Perakitan rancangan alat <i>stub setting fixture</i>	52
4.1.3 Analisis konstruksi rancangan alat <i>stub setting fixture</i>	53
4.1.4 Pembuatan alat purwarupa <i>stub setting fixture</i>	80
4.2 Pengujian Alat <i>Stub Setting Fixture</i>	90
4.2.1 Pengujian penggunaan dan fungsi alat <i>stub setting fixture</i> pada instalasi menara Saluran Udara Tegangan tinggi (SUTT)	91
4.2.2 Pengujian kinerja <i>stub setting fixture</i> pada instalasi menara Saluran Udara Tegangan tinggi (SUTT)	96
4.3 Pembahasan.....	97
4.3.1 Hasil analisis perancangan alat <i>stub setting fixture</i>	97
4.3.2 Kinerja alat <i>stub setting fixture</i> pada instalasi menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)	101
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	104
5.1 Kesimpulan	104
5.2 Saran	105
DAFTAR PUSTAKA.....	106
LAMPIRAN	108



DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Karakteristik ukuran tipe <i>tower</i> AA6. <i>Document title: TOWER 150 kV SUTT 2xZebra Setting Stub. Manufacturing Drawing Doc. No.: DMS-150KV-AA6-15. Manufactured by PT. Danusari Mitra Sejahtera</i>	22
2. Ulir metrik	31
3. Sifat mekanik beberapa tingkatan baut, <i>screw</i> , dan <i>stud</i> . (Budynas & Nisbett, 2008)	33
4. Tegangan geser yang diizinkan pada leher jenis pengelasan <i>fillet</i> atau <i>partial penetration weld</i> beberapa tingkat kekuatan material las. (Budynas & Nisbett, 2008)	43
5. Massa dan gaya komponen-komponen <i>stub setting fixture</i>	53



DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. <i>Setting stub</i> yang dilakukan oleh pekerja instalasi <i>tower</i> SUTT	4
2. Tiang sudut.....	10
3. Tiang transposisi.....	10
4. Tiang portal.....	10
5. Tiang kombinasi.....	11
6. Konstruksi tiang <i>pole</i>	11
7. Palang poligonal lengkung (<i>davit</i>).....	12
8. Palang poligonal lurus.....	12
9. <i>Traverse</i> lurus.....	12
10. Tiang <i>delta</i>	13
11. Tiang <i>zig-zag</i>	13
12. Tiang piramida.....	14
13. Tiang <i>lattice</i>	14
14. Mur dan baut <i>tower</i>	14
15. <i>Stub tower</i>	15
16. Pondasi normal.....	15
17. Pondasi spesial (pancang).....	16
18. Halaman <i>tower</i>	16
19. <i>Leg tower</i>	17
20. <i>Stub</i> pada galian pondasi.....	19
21. Contoh peralatan untuk instalasi <i>individual stub</i>	20
22. <i>Stub setting</i> yang dilakukan pekerja instalasi menara SUTT.....	20
23. <i>Template stub tipe AA6 150 kV</i> . Sumber: <i>Document title: TOWER 150 kV SUTT 2xZebra Setting Stub</i> . Manufacturing Drawing Doc. No.: DMS-150KV-AA6-15. <i>Manufactured by PT. Danusari Mitra Sejahtera</i>	21
24. Tegangan lentur (<i>bending</i>) pada balok lurus.....	27
25. Balok <i>hollow</i> penampang persegi	28
26. a) sebuah batang dikenakan beban transversal, b) bagian batang, c) distribusi tegangan lentur (<i>bending</i>) pada batang	29
27. Tegangan geser pada sebuah balok penampang persegi panjang	29
lah-istilah pada ulir.	31
ban eksentris yang sejajar dengan sumbu baut.....	34
an skrup (<i>turnbuckle</i>).....	35
mbungan-sambungan las <i>lap joint</i>	37



32.	Sambungan-sambungan las <i>butt Joint</i> a) <i>square butt joint</i> b) <i>single v-butt joint</i> c) <i>single U-butt joint</i> d) <i>double V-butt joint</i> e) <i>double U-butt joint</i>	37
33.	Berbagai jenis sambungan las lainnya a) <i>corner joint</i> b) <i>edge joint</i> c) <i>T-joint</i>	38
34.	Sambungan las jenis <i>double parallel fillet</i>	38
35.	Sambungan las yang menerima beban eksentris.....	39
36.	Sambungan las <i>fillet</i> segiempat yang menerima beban eksentris	39
37.	Sambungan las <i>fillet</i> melingkar beban eksentris	40
38.	Batang silinder yang dihubungkan ke pelat kaku dengan las <i>fillet</i> yang dikenai torsi	42
39.	Diagram alir pelaksanaan penelitian	46
40.	Rancangan <i>stub fixture</i>	48
41.	Rancangan span skrup (<i>turnbuckle</i>)	49
42.	Rancangan <i>alignment arm</i>	49
43.	Rancangan <i>spirit level digital</i>	50
44.	Rancangan rangka atas (<i>top frame</i>).....	50
45.	Baut dan mur <i>alignment arm</i>	51
46.	Rancangan rangka bawah (<i>bottom frame</i>)	51
47.	Rancangan <i>adjustment leg</i>	52
48.	Rakitan rancangan konstruksi <i>stub setting fixture</i>	52
49.	Pembebanan pada balok <i>hollow</i> persegi <i>alignment arm</i>	55
50.	Beban dan jarak pembebanan pada batang balok <i>hollow</i> persegi <i>alignment arm</i>	55
51.	Pembebanan pada balok <i>hollow</i> persegi <i>top frame</i>	56
52.	Beban dan jarak pembebanan pada batang balok <i>hollow</i> persegi <i>top frame</i>	57
53.	Luas penampang A_1 , jarak y , dan tegangan geser τ_1 balok <i>hollow</i> persegi <i>alignment arm</i>	59
54.	Jarak b_1 dan tegangan geser τ_2 balok <i>hollow</i> persegi <i>alignment arm</i>	60
55.	Luas penampang A_2 , jarak y_2 , dan tegangan geser τ_3 balok <i>hollow</i> persegi <i>alignment arm</i>	60
56.	Luas penampang A_1 , jarak y , dan tegangan geser τ_1 balok <i>hollow</i> persegi <i>top frame</i>	62
57.	jarak b_1 dan tegangan geser τ_2 balok <i>hollow</i> persegi <i>top frame</i>	62
	Luas penampang A_2 , jarak y_2 , dan tegangan geser τ_3 balok <i>hollow</i> persegi <i>top frame</i>	63
	Sambungan baut penghubung <i>alignment arm</i> dan <i>stub fixture</i>	64



60.	Sambungan baut penghubung <i>alignment arm</i> dan span skrup (<i>turnbuckle</i>).....	65
61.	Sambungan baut penghubung span skrup (<i>turnbuckle</i>) dengan <i>stub fixture</i>	66
62.	sambungan ulir pada baut penahan <i>alignment arm</i>	67
63.	Sambungan ulir pada <i>adjustment leg</i>	68
64.	Span skrup (<i>turnbuckle</i>) M12X1.75.....	69
65.	Sambungan las <i>fillet joint</i> pada <i>top frame</i>	71
66.	Sambungan las <i>double fillet</i> pada penghubung <i>alignment arm</i> dengan spans skrup (<i>turnbuckle</i>).....	72
67.	Sambungan las <i>double fillet joint</i> pada pelat penghubung antara <i>stub fixture</i> dengan <i>alignment arm</i>	73
68.	Sambungan las <i>double fillet joint</i> pada pelat penghubung antara <i>stub fixture</i> dengan span skrup (<i>turnbuckle</i>)	74
69.	Las <i>fillet</i> melingkar pada <i>top frame</i>	76
70.	Las <i>fillet</i> melingkar yang dikenai <i>torsi</i> pada pelat penghubung antara balok <i>hollow</i> dengan pipa tiang tengah pada <i>top frame</i>	77
71.	Las <i>fillet</i> melingkar pada <i>bottom frame</i> yang menerima beban eksentris	78
72.	Pembuatan lubang penghubung antara <i>stub fixture</i> dengan komponen <i>alignment arm</i> dan span skrup (<i>turnbuckle</i>)	81
73.	Penyambungan penghubung pada besi siku menggunakan sambungan las listrik	82
74.	Hasil akhir pembuatan <i>stub fixture</i>	82
75.	Proses pembuatan lubang pada <i>alignment arm</i>	83
76.	Pembuatan alur pergerakan <i>stub fixture</i>	83
77.	Penyambungan penghubung pada besi <i>hollow</i> persegi menggunakan sambungan las listrik	83
78.	Hasil akhir pembuatan komponen <i>alignment arm</i>	84
79.	Pembuatan lubang memanjang sebagai jalur pergerakan baut dan mur penahan <i>alignment arm</i> pada besi <i>hollow</i> persegi	84
80.	Baja <i>hollow</i> pipa Ø4 inci dihubungkan pada besi pelat menggunakan sambungan las listrik	84
81.	Penyambungan baja <i>hollow</i> persegi 35X35X2 panjang 8 mm pada baja pelat ukuran 110X110X5 mm menggunakan sambungan las listrik	85
82.	Penyambungan baja <i>hollow</i> pipa Ø1 inci pada baja <i>hollow</i> persegi menggunakan sambungan las listrik.....	85
	Penyambungan baja <i>hollow</i> pipa Ø1,5 inci dihubungkan pada baja <i>hollow</i> pipa Ø4 inci tiang tengah menggunakan sambungan las listrik	86
	Hasil akhir pembuatan komponen <i>top frame</i>	86



85.	Penyambungan baja <i>hollow</i> pipa Ø1 inci tebal 2,5 mm pada baja <i>hollow</i> pipa Ø4 inci tebal 4 mm menggunakan sambungan las listrik	87
86.	Proses pengeboran dan pembubutan lubang pada baja silinder pejal untuk penempatan <i>adjustment leg</i> menggunakan mesin bubut.....	87
87.	Penyambungan baja silinder untuk penempatan <i>adjustment leg</i> pada kisi-kisi rangka	87
88.	Hasil akhir komponen <i>bottom frame</i>	88
89.	Pembubutan dan pembuatan ulir pada poros silinder pejal	88
90.	Hasil pembuatan <i>adjustment leg</i>	88
91.	Keempat <i>adjustment leg</i> dirangkai pada komponen <i>bottom frame</i>	89
92.	<i>Top frame</i> dirangkai pada <i>bottom frame</i>	89
93.	<i>Stub fixture</i> dan span skrup (<i>turnbuckle</i>) dihubungkan pada <i>alignment arm</i>	89
94.	<i>Alignment arm</i> dihubungkan pada <i>top frame</i>	90
95.	<i>Spirit Level</i> diposisikan pada bagian atas <i>top frame</i>	90
96.	Hasil rangkaian semua komponen <i>stub setting fixture</i>	90
97.	Pemasangan semua komponen dan penempatan pada tengah galian pondasi	91
98.	Pengaturan ketinggian alat dengan memutar mur penahan <i>bottom frame</i>	92
99.	Penempatan <i>spirit level</i> digital di atas <i>top frame</i>	92
100.	Kalibrasi kerataan alat purwarupa <i>stub setting fixture</i>	92
101.	Kalibrasi sudut kemiringan awal 0° <i>stub fixture</i> pertama menggunakan <i>spirit level</i> magnet.....	93
102.	Pengaturan sudut kemiringan <i>stub fixture</i> pertama dengan bantuan <i>spirit level</i>	93
103.	Kalibrasi sudut kemiringan awal 0° <i>stub fixture</i> kedua menggunakan <i>spirit level magnet digital</i>	94
104.	Pengaturan sudut kemiringan <i>stub fixture</i> kedua dengan bantuan <i>spirit level magnet digital</i>	94
105.	Pengaturan jarak <i>stub fixture</i> pertama dengan cara mengatur panjang <i>alignment arm</i>	94
106.	Pengaturan jarak <i>stub fixture</i> dengan cara mengatur panjang <i>alignment arm</i> kedua	95
107.	Penempatan purwarupa <i>stub</i> pada <i>stub fixture</i>	95
108.	Pengaturan sudut kemiringan <i>stub</i> pertama dan kedua arah diagonal.....	95
	ngaturan posisi dan sudut kemiringan <i>stub</i> pertama dan kedua yang ditahan menggunakan alat bantu	96
	ngaturan sudut kemiringan <i>stub</i> ketiga dan keempat.....	96
	sil akhir simulasi pengaturan sudut kemiringan <i>stub</i> (<i>stub setting</i>)	96



112. Kondisi alat purwarupa *stub setting fixture* dalam proses pengaturan kemiringan sudut *stub*..... 97



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Gambar desain alat <i>stub setting fixture</i>	109
2. Gambar <i>setting stub</i>	122
3. Tabel <i>tensile requirements</i> material A36	128
4. <i>Breaking strength of turnbuckles</i> (ASTM F 1145 – 92)	129



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Daftar singkatan dan lambang

Lambang/Singkatan	Arti dan Penjelasan
α	alpha
π	phi
ρ	rho, massa jenis
σ	sigma, tegangan
σ_b	tegangan lentur
σ_t	tegangan tarik
τ	tegangan geser
$^{\circ}$	derajat
A	luas penampang
ACCC	aluminum conductor composite core
ACSR	aluminium conductor steel-reinforced cable
AISI	American national standards institute
ANSI	Amerian national standards institute
ASTM	American society for testing and materials
cm	sentimeter
d	diameter
d_c	diameter core
d_p	diameter pitch
GI	gardu induk
GITET	gardu induk tegangan ekstra tinggi
GSW	galvanized steel wire
I	momen inersia
IPTEK	ilmu pengetahuan dan teknologi
kV	kilo-Volt
L	panjang
l	panjang las
M	momen
mm	milimeter
n	jumlah
N	Newton
NA	sumbu netral
P	beban/gaya tarik
P_s	beban geser
PLN	perusahaan listrik negara
Q	momen pertama terhadap neutral axis
s	ukuran las
SAE	society of automotive engineers
SUTET	saluran udara tegangan ekstra tinggi
SUTM	saluran udara tegangan menengah
SUTR	saluran udara tegangan rendah
SUTT	saluran udara tegangan tinggi
T	torsi
	tebal leher las
	thermal resistant aluminum alloy conductors steel reinforced
	gaya geser
	berat



y
 Z

jarak dari sumbu netral ke arsiran
modulus penampang



Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang sangat berperan penting dalam kehidupan manusia. Dengan energi listrik maka dapat mempermudah segala aspek pekerjaan manusia. Seiring berjalannya waktu dan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Adanya peningkatan dan perkembangan, baik dari jumlah penduduk, jumlah investasi yang semakin meningkat akan memunculkan berbagai industri-industri baru. Penggunaan listrik merupakan faktor yang penting dalam kehidupan masyarakat, baik pada sektor rumah tangga, penerangan, komunikasi, industri dan sebagainya.

Dalam kehidupan modern energi listrik menjadi salah satu unsur penting untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pasokan energi listrik yang terdistribusi secara baik dan merata dalam pemanfaatan di bidang industri dan kebutuhan rumahan dapat mendukung gerak perekonomian masyarakat. Dalam pendistribusian energi listrik dibutuhkan sebuah instrumen untuk menyalurkan pasokan energi listrik agar terdistribusi secara merata, dalam hal ini transmisi listrik.

Tujuan utama dari sistem transmisi listrik adalah untuk mentransmisikan daya dari unit pembangkit ke sistem distribusi yang memasok beban. Hal ini adalah disediakan oleh saluran transmisi yang menghubungkan generator ke dalam jaringan transmisi, interkoneksi berbagai daerah penyaluran jaringan, interkoneksi antarsatu utilitas listrik dengan yang lain, atau menyalurkan daya listrik dari berbagai daerah dalam jaringan transmisi ke gardu distribusi (Santoso & Beaty, 2018).

Saluran listrik udara (*overhead powerline*) adalah sebuah struktur yang digunakan dalam transmisi dan distribusi tenaga listrik untuk menghantarkan listrik ke tempat yang jauh. Berdasarkan tegangan listrik yang dihantarkan, Saluran listrik terdapat menjadi empat, yaitu Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) menghantarkan tenaga listrik kurang dari 1000 Volt digunakan untuk distribusi di daerah permukiman, Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) antara



1000 Volt (1 kV) hingga 69 kV, digunakan untuk distribusi listrik antarkawasan, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) antara 70 kV hingga 150 kV digunakan untuk transmisi listrik antarwilayah, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) antara 275 kV hingga 800 kV digunakan untuk transmisi listrik jarak jauh (Fink & Beaty, 2006).

Di Indonesia, SUTT merupakan menara saluran listrik udara yang digunakan untuk menghantarkan listrik bertegangan 35 kV hingga 230 kV (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2021). Menurut bentuknya, jenis-jenis menara SUTT antara lain tiang *pole* dan tiang kisi-kisi (*lattice tower*) (PT. PLN (Persero), 2014). Tiang jenis *pole* terdiri atas tiang baja, tiang beton bertulang, dan tiang kayu, sedangkan tiang kisi-kisi berupa menara baja. Tiang baja, beton atau kayu umumnya digunakan pada saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (di bawah 70 kV), sedangkan untuk saluran tegangan tinggi atau ekstra tinggi menggunakan menara baja (Cekdin & Barlian, 2013).

Lu dan Ou (2016) mengemukakan bahwa “tiang kisi-kisi terbuat dari baja profil disusun sedemikian rupa sehingga suatu menara yang telah diperhitungkan kekuatannya disesuaikan dengan kebutuhannya. Menara transmisi kisi-kisi memiliki dua fitur khusus. Pertama, untuk membentuk sambungan semi kaku, sambungan dibuat dengan menggunakan lebih dari satu baut. Kedua, karena penggunaan elemen yang menampilkan kedua fitur balok dan rangka, strukturnya tidak bisa dianggap sebagai ruang struktur rangka”. Menara SUTT memiliki bagian-bagian yang terdiri atas pondasi, *stub*, *leg*, *common body*, *super structure*, *cross arm*, dan *bridge*.

Menurut Sofyan et al., (2018), dalam suatu instalasi suatu menara saluran listrik perlu diperhitungkan kekuatan struktur menara. Menara yang tidak kokoh dapat mengakibatkan deformasi pada struktur menara sehingga sewaktu-waktu dapat ambruk akibat terpaan angin maupun beban dari insulator listrik. Selain itu, beban hujan serta kerusakan akibat petir juga dapat menyebabkan *failure* suatu menara listrik. Beberapa penelitian sebelumnya mengkaji suatu kekuatan struktur menara yang dipengaruhi oleh beban terpaan angin dan hujan. Menurut Sumargo, beban terpaan angin sangat besar yang ditunjukkan adanya perbedaan yang, yaitu sebelum adanya beban angin nilai rasionya adalah sebesar 0,989 lah diberi beban angin nilai rasionya meningkat menjadi 3,67. untuk itkan struktur yang kuat dan kokoh maka nilai rasio yang diizinkan adalah



kurang dari 1 (Sumargo et al., 2008). Penelitian yang dilakukan oleh Fu et al., (2016) mengemukakan bahwa *failure probability* maksimum suatu menara listrik dapat mencapai 25,41% dengan asumsi intensitas hujan tetap 100 mm/jam selama topan Hagupit. Hal ini menunjukkan bahwa *failure probability* akan meningkat secara signifikan jika intensitas hujan lebih deras dan kecepatan angin yang lebih kuat terjadi secara serempak. Adapun *failure* yang terjadi berupa *buckling* oleh kerusakan petir (*lightning damage*) disebabkan suhu lebih besar dari 260 °C memiliki dampak yang signifikan pada *failure mode* menara listrik. yaitu pada rasio sinusoidal amplitudo *bending* ke panjang bagian menara mulai dari orde pertama, kedua, dan ketiga masing-masing sebesar 0,79602, 0,80997, dan 0,83247 (Fu et al., 2018). Oleh karena itu, struktur menara SUTT perlu dipertimbangkan dari segi konstruksinya.

Pada instalasi struktur menara SUTT salah satu hal utama yang perlu diperhatikan adalah pemasangan *stub*. *Stub* merupakan bagian paling bawah kaki menara. Bagian ini harus dipasang sebelum membangun penghubung dengan pondasi (Kiessling et al., 2003). Bagian atas *stub* muncul dipermukaan tanah sekitar 0,5 sampai 1 meter dan dilindungi semen serta dicat agar tidak mudah berkarat. Pemasangan *stub* paling menentukan mutu pemasangan tower, karena harus memenuhi beberapa syarat, yaitu jarak antar-*stub* harus benar, sudut kemiringan *stub* harus sesuai dengan kemiringan kaki tower, level titik hubung *stub* dengan kaki tower tidak boleh beda 2 mm (milimeter) (PT. PLN (Persero), 2014). Selain itu, bagian ini harus dipasang sesuai standar dan prosedur yang telah ditentukan. Apabila tidak sesuai maka dapat menyebabkan konstruksi menara tersebut miring dan tidak kokoh. Dalam kurun waktu terakhir pemasangan *stub* masih menggunakan peralatan sederhana, diantaranya *total station*, meteran, patok yang terbuat dari kayu, dan alat bantu buatan berupa *turnbuckle* yang dihubungkan dengan besi profil L tebal untuk mengatur sudut kemiringan (*slope*) *stub*. Berdasarkan observasi lapangan yang telah peneliti lakukan, pekerja melakukan pemasangan *stub* ini dengan berdiri pada sebatang kayu yang melintang sepanjang galian pondasi. Metode ini dinilai kurang efisien dan rumit. Selain itu, tingkat keamanan pekerja berisiko tinggi sehingga dapat menimbulkan an kerja. Penelitian yang dilakukan oleh Wantouw dan Mandagi (2014) ukkan bahwa pekerjaan pada SUTT sewaktu-waktu dapat memicu risiko an kerja dalam tingkat kategori *significant risk*. Oleh karena itu, diperlukan rancangan alat bantu yang dapat dibuat untuk mengefisienkan pekerjaan



dan meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja saat pelaksanaan instalasi menara khususnya pemasangan *stub*.



Gambar 1. *Setting stub* yang dilakukan oleh pekerja instalasi *tower* SUTT

Rancangan alat bantu untuk mengatasi hal tersebut dapat berupa *fixture*. Dalam industri manufaktur *fixture* merupakan alat yang berbeda dari *jig*, tetapi memiliki fungsi yang saling menunjang satu sama lain (Kumbhar & Pandit, 2017). *Jig* merupakan alat bantu pemotongan dan kendali sedangkan *fixture* merupakan alat untuk bantu dalam menahan komponen agar pergerakan yang dapat mempengaruhi akurasi tidak terjadi (Hoffman, 2004). Walaupun memiliki fungsi yang berbeda, keduanya berfungsi mengurangi waktu siklus dalam suatu pembuatan komponen sehingga menghasilkan suatu produk yang bernilai ekonomis (Nanthakumar & Prabakaran, 2014).

Menurut Bhosale et al., (2017), dalam merancang suatu *fixture*, keberhasilannya dimulai dengan perencanaan yang logis dan sistematis dengan analisis yang dibutuhkan secara menyeluruh, serta dapat meminimalisir masalah desain yang terjadi. Penelitian yang dilakukan pada rancang bangun purwarupa *CMM fixture tower* diperoleh 64,3% dari jumlah pengukuran produk *tower fixture* berada dalam batas toleransi yang diizinkan. Selebihnya tidak dapat diterima karena disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya *human error* dan ketidakakuratan dalam proses permesinan sehingga menyebabkan adanya perbedaan dimensi antara gambar desain dengan dimensi asli produk (Wilujeng & Hakim, 2020). Dalam kasus di atas, perancangan *fixture* menjadi salah satu pertimbangan penting pada rancangan *setting stub fixture* menara SUTT kedepannya.

Berdasarkan beberapa uraian masalah tersebut maka diperlukan suatu alat bantu untuk mengatur sudut kemiringan (*slope*) *stub* saat pemasangan dan kemiringan *stub* SUTT. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Rancang Bangun *Stub Setting Fixture* pada Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)”. Penelitian ini bertujuan



untuk merancang, membuat, serta menganalisis kinerja *stub setting fixture* pada instalasi Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). Alat tersebut dirancang terlebih dahulu, kemudian dianalisis agar pada saat pengoperasian di lapangan dapat bekerja dengan baik dan optimal.

Rancangan *stub setting fixture* menara SUTT memerlukan konsep *fixture* berdasarkan prinsip kerja alat yang dapat mengatur dan mempertahankan posisi dan sudut kemiringan (*slope*) *stub*, serta jarak antardiagonal *stub* sesuai dengan *template stub* SUTT. Konsep yang dipertimbangkan memiliki prinsip kerja dan rancangan komponen yang sederhana sehingga *fixture* ini nantinya dapat memudahkan proses pembuatan, perakitan, pengaplikasian, memudahkan dan mengefisienkan pekerjaan instalasi menara SUTT. Selain itu, informasi yang dihasilkan dari penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan pembuatan *stub setting fixture* dan sebagai bahan pertimbangan bagi para jasa penggiat konstruksi dalam instalasi menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat *stub setting fixture* pada instalasi menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)?
2. Bagaimana menganalisis kinerja *stub setting fixture* pada instalasi menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat *stub setting fixture* pada instalasi menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).
2. Menganalisis kinerja *stub setting fixture* pada instalasi menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).



1.4 Batasan Masalah

Batasan Masalah pada penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Alat bantu *stub setting fixture* yang dibuat dalam bentuk alat purwarupa (*prototype*).
2. Menganalisis struktur dan elemen mesin pada komponen sebagai kinerja dan performa alat bantu *stub setting fixture*.
3. Alat bantu *stub setting fixture* diuji pada simulasi proyek instalasi menara saluran udara jenis Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat menjadi referensi pembuatan alat *stub setting fixture*.
2. Penelitian ini dapat dimanfaatkan bagi pekerja instalasi menara saluran udara (*overhead power line*).
3. Penelitian ini dapat menjadi referensi bagi para jasa penggiat konstruksi khususnya dalam instalasi menara saluran udara (*overhead power line*).
4. Sebagai bahan acuan dalam pengembangan alat bantu *stub setting fixture* berikutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Saluran Listrik Udara

Saluran listrik udara adalah sebuah struktur yang digunakan dalam transmisi dan distribusi tenaga listrik untuk menghantarkan listrik ke tempat yang jauh. Saluran dapat terdiri dari satu atau lebih konduktor (umumnya kelipatan tiga) yang dipasang di menara atau tiang. Karena sebagian besar insulasi disediakan oleh udara, maka saluran listrik udara umumnya merupakan metode termurah untuk mentransmisikan listrik dalam jumlah besar.

Menara untuk mendukung saluran listrik dapat dibuat dari kayu, baja, aluminium, beton, dan terkadang juga plastik yang diperkuat. Kabel pada saluran listrik umumnya terbuat dari aluminium (baik aluminium murni atau yang diperkuat baja, ataupun material komposit, seperti karbon dan fiber kaca), walaupun kabel tembaga juga digunakan dalam saluran listrik tegangan menengah dan rendah. Tujuan utama dalam perancangan saluran listrik adalah untuk menjaga jarak yang cukup antara kabel dengan tanah, sehingga dapat menghindarkan kabel dari kontak yang berbahaya, namun tetap tidak menyulitkan dalam perawatan, serta tahan terhadap petir, salju, gempa bumi, dan potensi perusak lainnya.

Saluran listrik udara dibedakan berdasarkan tegangan listrik yang diantarnya, yakni:

- 1) Saluran udara tegangan rendah (SUTR) – kurang dari 1000 Volt digunakan untuk distribusi listrik antar permukiman.
- 2) Saluran udara tegangan menengah (SUTM) – antara 1000 Volt (1 kV) dan 69 kV digunakan untuk distribusi listrik antar kawasan.
- 3) Saluran udara tegangan tinggi (SUTT) - antara 70 kV hingga 150 kV digunakan untuk transmisi listrik antar wilayah.
- 4) Saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) – antara 275 kV hingga 800 kV digunakan untuk transmisi listrik jarak jauh.



2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Berdasarkan Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi nomor 13 tahun 2021 dalam Pasal 1 Ayat 5, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah saluran tenaga listrik yang menggunakan kawat telanjang (penghantar) di udara bertegangan diatas 35 sampai dengan 230 kV sesuai standar dibidang ketenagalistrikan. (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2021).

Menurut PT. PLN (Persero) (2014), berdasarkan fungsi dari tiap-tiap komponennya, sistem transmisi SUTT dikelompokkan sebagai berikut:

2.2.1 *Current carrying* (pembawa arus)

Komponen yang termasuk dalam fungsi pembawa arus adalah komponen SUTT yang berfungsi dalam proses penyaluran arus listrik dari Pembangkit ke GI/ GITET atau dari GI/ GITET ke GI/ GITET lainnya. Komponen-komponen yang termasuk fungsi pembawa arus, yaitu:

1. *Bare conductor OHL* (Termasuk ACSR, TACSR dan ACCC).
2. *Conductor joint (midspan joint)*.
3. *Jumper joint*.
4. *Konduktor jumper (Jumper Conductor)*.

2.2.2 *Insolasi (insulation)*

Insolasi (*insulation*) berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan/*ground*, baik saat *normal continuous operation* dan saat terjadi surja termasuk petir didalam saluran transmisi. Sesuai fungsinya, insulator yang baik harus memenuhi sifat antara lain:

1. Karakteristik elektrik

Insulator mempunyai ketahanan tegangan impuls petir pengenal dan tegangan kerja, tegangan tembus minimum sesuai tegangan kerja dan merupakan bahan isolasi yang diapit oleh logam sehingga merupakan sitor. Kapasitansinya diperbesar oleh polutan maupun kelembaban udara mukaannya. Apabila nilai isolasi menurun akibat dari polutan maupun akan pada insulator, maka akan terjadi kegagalan isolasi yang akhirnya menimbulkan gangguan.



2. Karakteristik mekanik

Insulator harus mempunyai kuat mekanik guna menanggung beban tarik konduktor penghantar maupun beban berat insulator dan konduktor penghantar. Menurut bentuknya, insulator terdiri dari berbagai tipe, antara lain:

- 1) Insulator piring
- 2) Insulator tipe *post*
- 3) Insulator *long rod*

Menurut pemasangannya, insulator terdiri dari beberapa jenis, antara lain:

- 1) "I" *String*
- 2) "V" *String*
- 3) *Horizontal String*
- 4) *Single String*
- 5) *Double String*
- 6) *Quadruple*

2.2.3 Struktur (*structure*)

Komponen utama dari fungsi struktur (*structure*) pada sistem transmisi SUTT adalah tiang (*tower*). Tiang adalah konstruksi bangunan yang kokoh untuk menyangga/merentang konduktor penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya dengan sekat insulator. Struktur terbagi dalam beberapa bagian, yaitu:

1. Besi siku menara (*bracing tower*)

Rangkaian *bracing tower* membentuk struktur *tower* yang berfungsi menjaga dan mempertahankan kawat penghantar pada jarak *ground clearance* tertentu sehingga proses transmisi daya berlangsung kontinyu.

2. Tiang (*tower*)

Tiang (*tower*) menurut fungsinya antara lain:

- Tiang penegang (*tension tower*)

Tiang penegang disamping menahan gaya berat juga menahan gaya tarik dari konduktor. Tiang penegang konduktor Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) terdiri dari:

- 1) Tiang sudut (*angle tower*)





Gambar 2. Tiang sudut

b) Tiang akhir (*dead end tower*)

Macam-macam tiang akhir antara lain:

- 1) Tiang penyangga (*suspension tower*)
- 2) Tiang penyekat (*section tower*)
- 3) Tiang transposisi



Gambar 3. Tiang transposisi

4) Tiang portal (*gantri tower*)



Gambar 4. Tiang portal

5) Tiang kombinasi (*combined tower*)





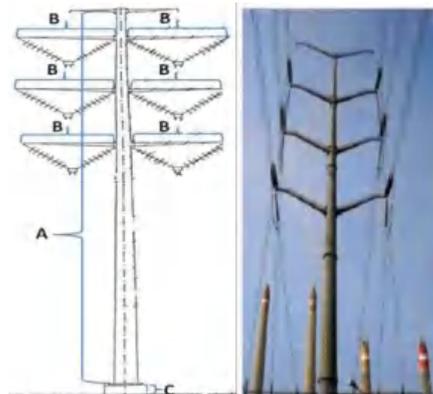
Gambar 5. Tiang kombinasi

Tiang menurut bentuknya terdiri dari:

- **Tiang *pole***

Konstruksi SUTT dengan tiang beton atau tiang baja. Pemanfaatannya digunakan pada perluasan SUTT dalam kota yang padat penduduk dan memerlukan lahan relatif sempit. Berdasarkan materialnya, tiang *pole* terbagi menjadi:

- Tiang *pole* baja
- Tiang *pole* beton



Gambar 6. Konstruksi tiang *pole*

Konstruksi tiang *pole* terdiri dari 3 bagian utama yaitu:

- 1) Tiang

Tiang adalah bagian utama dari tiang *pole* yang berfungsi sebagai penopang dari palang dan insulator. Untuk pemakaian pada saluran dengan jarak rentang yang panjang (menyeberang sungai, lembah dan sebagainya) digunakan tiang khusus yang konstruksinya dan dimensinya dibuat lebih besar serta lebih kuat dari pada jenis tiang yang standar.

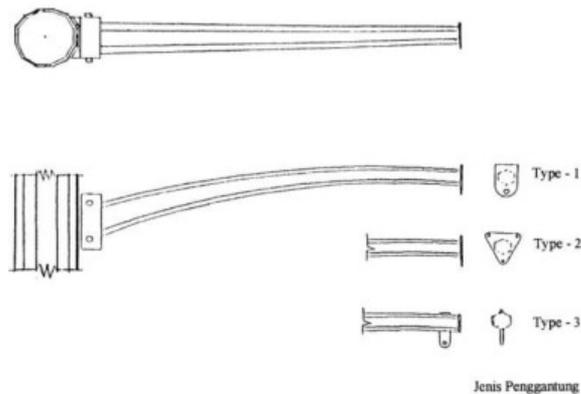


Tiang baja terbuat dari *high steel* yang berpenampang poligonal atau bulat, sedangkan tiang beton terbuat dari beton pratekan berpenampang bulat.

2) Palang (*travers*)

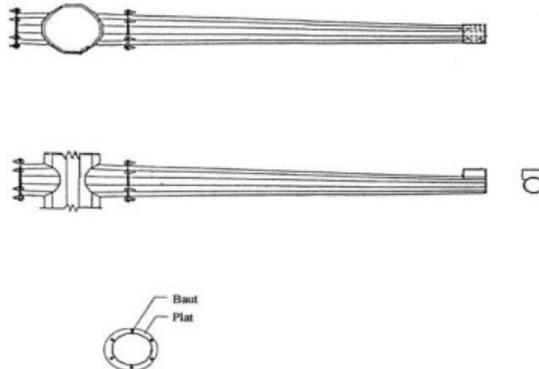
Jenis palang yang digunakan pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) antara lain:

a. Palang poligonal lengkung (*davit*)



Gambar 7. Palang poligonal lengkung (*davit*)

b. Palang poligonal lurus



Gambar 8. Palang poligonal lurus

c. Palang lurus



Gambar 9. *Traverse* lurus

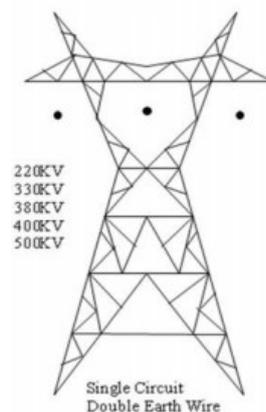


Traverse davit dan *traverse* poligonal lurus digunakan untuk SUTT tiang tunggal. Sedangkan untuk SUTT tiang ganda menggunakan *traverse* lurus.

- Tiang kisi-kisi (*lattice tower*)

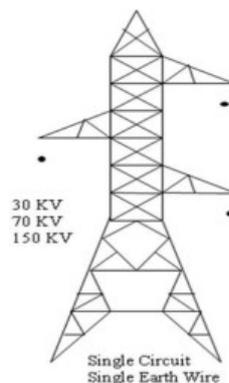
Tiang kisi-kisi terbuat dari baja profil, disusun sedemikian rupa sehingga membentuk suatu menara yang telah diperhitungkan kekuatannya disesuaikan dengan kebutuhannya. Berdasarkan susunan/konfigurasi penghantarnya, tiang kisi-kisi dibedakan menjadi 3 (tiga) kelompok besar, yaitu:

- 1) Tiang delta (*delta tower*)



Gambar 10. Tiang *delta*

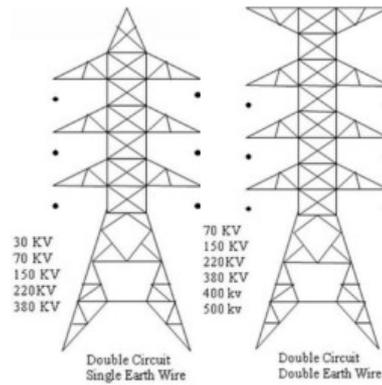
- 2) Tiang zig-zag (*zig-zag tower*)



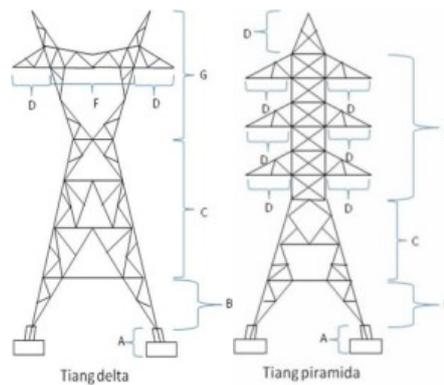
Gambar 11. Tiang *zig-zag*

- 3) Tiang piramida (*pyramid tower*)





Gambar 12. Tiang piramida



Gambar 13. Tiang *lattice*

3. Mur dan baut *tower*

Mur dan baut *tower* berfungsi menyatukan *bracing* sehingga membentuk konstruksi *tower*.



Gambar 14. Mur dan baut *tower*

4. Pondasi *tower*

Pondasi adalah konstruksi beton bertulang untuk mengikat kaki *tower* (*stub*) dengan bumi. Jenis pondasi *tower* beragam menurut kondisi tanah tempat tapak *tower* berada dan beban yang akan ditanggung oleh *tower*.

asi *tower* yang menanggung beban tarik (*tension*) dirancang lebih besar daripada *tower* tipe *suspension*. Jenis pondasi antara lain:

Normal; dipilih untuk daerah yang dinilai cukup keras tanahnya.

Spesial; pancang (*fabrication* dan *cassing*), dipilih untuk daerah yang



lembek/tidak keras sehingga harus diupayakan mencapai tanah keras yang lebih dalam.

- *Raft*; dipilih untuk daerah berawa/ berair.
- *Auger*; dipilih karena mudah pengerjaannya dengan mengebor dan mengisinya dengan semen.
- *Rockdrilled*; dipilih untuk daerah berbatuan.

5. *Stub tower*

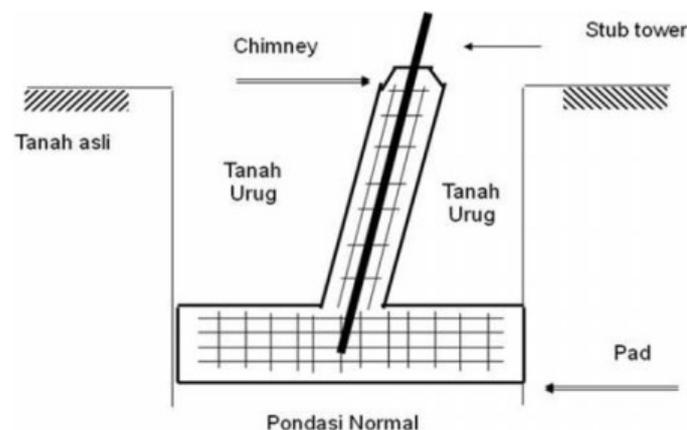
Stub adalah bagian paling bawah dari kaki *tower* dipasang bersamaan dengan pemasangan pondasi dan diikat menyatu dengan pondasi. Bagian atas *stub* muncul di permukaan tanah sekitar 0,5 hingga satu meter dan dilindungi semen serta dicat agar tidak mudah berkarat.



Gambar 15. *Stub tower*

Pemasangan *stub* paling menentukan mutu pemasangan *tower*, karena harus memenuhi syarat, yaitu:

- Jarak antar*stub* harus benar.
- Sudut kemiringan *stub* harus sesuai dengan kemiringan kaki *tower*.

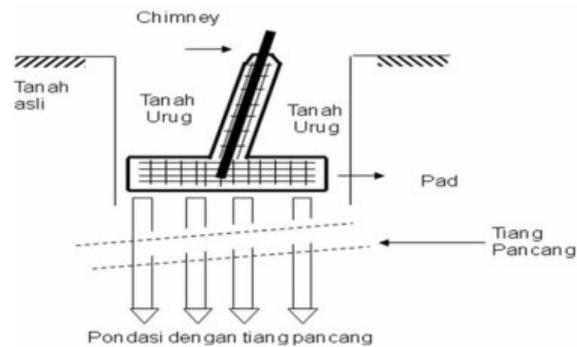


Gambar 16. Pondasi normal

Level titik hubung *stub* dengan kaki *tower* tidak boleh beda 2 mm



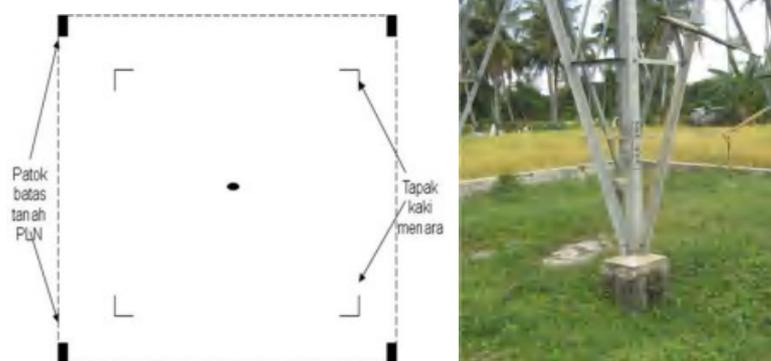
(milimeter).



Gambar 17. Pondasi spesial (pancang)

6. Halaman tower

Halaman *tower* adalah daerah tapak *tower* yang luasnya diukur dari proyeksi ke atas tanah galian pondasi. Biasanya antara 3 hingga 8 meter di luar *stub* tergantung pada jenis *tower*.

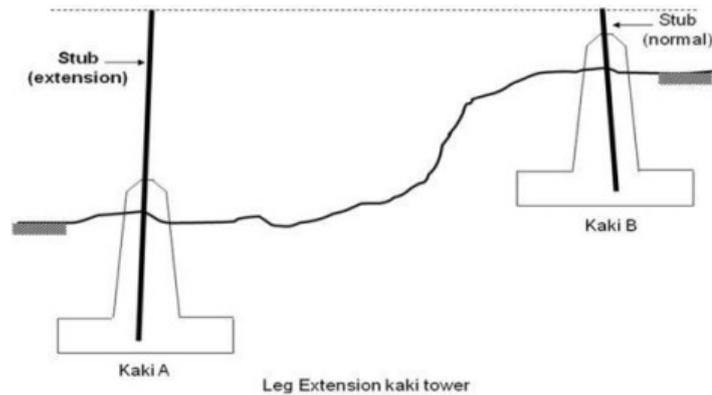


Gambar 18. Halaman tower

7. Kaki tower (*leg*)

Leg adalah kaki *tower* yang terhubung antara *stub* dengan *tower body*. Pada tanah yang tidak rata perlu dilakukan penambahan atau pengurangan tinggi *leg*. *Tower body* harus tetap sama tinggi permukaannya. Pengurangan *leg* ditandai dengan -1; -2; -3, sedangkan penambahan *leg* ditandai dengan +1; +2; +3.





Gambar 19. Leg tower

8. Pondasi tiang *pole*

Jenis pondasi yang digunakan pada tiang *pole* adalah:

1. Pondasi bor yang terdiri atas:
 - a) Pondasi bor poros lurus
 - b) Pondasi bor tanam langsung
2. Pondasi beton bertulang dengan baut angkur yang terdiri atas:
 - a) Pondasi beton bertulang dengan tiang pancang
 - b) Pondasi beton bertulang tanpa tiang pancang

2.2.4 Penghubung (*junctions*)

Penghubung (*junctions*) berfungsi menghubungkan subsistem *Current carrying* (pembawa arus), subsistem *insulation* (isolasi) dan subsistem *structure* (struktur). *Junction* pada sistem transmisi SUTT adalah semua komponen pendukung fungsi pembawa arus, isolasi dan struktur. Berdasarkan perannya sebagai komponen pendukung, *junction* terbagi atas:

1. Penghubung subsistem *current carrying* (pembawa arus) dengan subsistem *insulation* (isolasi). Terdiri atas *suspension clamp*, *strain clamp*, *dead end compression*, *socket clevis*, *bolt clevis*, *triangle plate*, *triangle plate link*, *square plate*, *shackle*, *turnbuckle*, dan *link adjuster*.
2. Penghubung subsistem *insulation* (isolasi) dengan subsistem *structure* (struktur), terdiri atas *triangle plate*, *link bolt socket*, *extension link shackle*, dan *adjuster plate*.



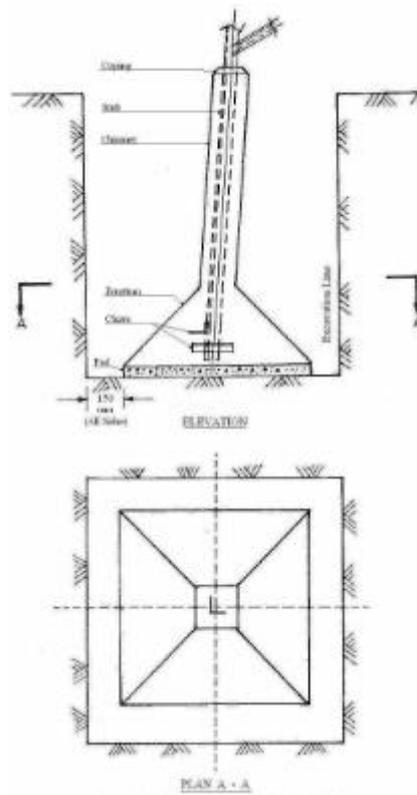
Untuk menghubungkan antarinsulator dan terminasi renceng insulator ke *junction* insulator dan *junction tower*, terdiri atas *ball and pin insulator ceramic* dan *ball and pin insulator ceramic*.

4. Menghubungkan subsistem pengamanan petir, terdiri atas *suspension clamp GSW*.
5. Menghubungkan antar subsistem pengamanan petir, terdiri atas *joint GSW*.

2.3 *Stub Setting* pada Instalasi Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Stub adalah bagian paling bawah dari kaki *tower* dipasang bersamaan dengan pemasangan pondasi dan diikat menyatu dengan pondasi (Kiessling et al., 2003). Bagian atas *stub* muncul di permukaan tanah sekitar 0,5 hingga satu meter dan dilindungi semen serta dicat agar tidak mudah berkarat. Pemasangan *stub* paling menentukan mutu pemasangan *tower*, karena harus memenuhi beberapa syarat diantaranya jarak antar-*stub* harus benar, sudut kemiringan *stub* harus sesuai dengan kemiringan kaki *tower*, serta level titik hubung *stub* dengan kaki *tower* tidak boleh beda dua milimeter (PT. PLN (Persero), 2014). Sudut *stub* harus dirancang dengan mempertimbangkan tumpuan pada pelat geser dan dasar kisi-kisi (*grillage*). Ketika pelat geser dihilangkan, sudut *stub* harus dirancang untuk beban aksial dan momen lentur berdasarkan tekanan tanah pasif sepanjang panjang *stub* (ASCE American Society of Civil Engineers, 2015). Setelah penyetulan kemiringan sudut, *stub* harus dipegang dengan kuat pada posisinya dengan pengaturan *template* atau perangkat lain termasuk panel bawah menara, saat beton ditempatkan dan selama periode perawatan awal (Papailiou, 2017).





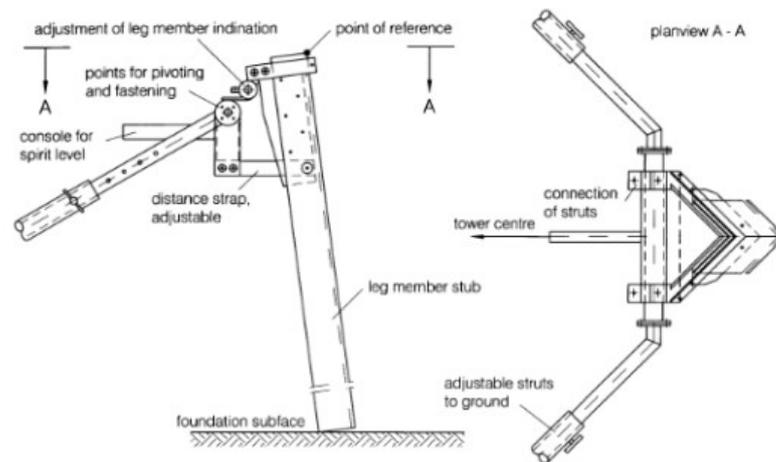
Gambar 20. *Stub* pada galian pondasi

Menurut Kiessling et al., (2003), *stub* menara baja harus dipasang sebelum membangun penghubung dengan pondasi. Ada dua prosedur yang dipakai dalam pemasangan *stub*, yaitu:

- *Stub* dipasang menggunakan pengaturan *template* atau dengan dasar (*base*) menara.
- *Stub* diatur secara tersendiri (*individual*) dan bebas satu sama lain.

Dalam kasus pondasi yang dangkal (*shallow foundations*), *stub* disusun pada balok beton di penggalian atau pada lapisan beton ramping. Perbedaan ketinggian diimbangi dengan penempatan pelat baja di bawah *stub* atau dengan penyetelan baut yang diatur paling bawah *cleat* di *stub*.





Gambar 21. Contoh peralatan untuk instalasi *individual stub*

Dalam kasus pondasi atau tiang yang diperbesar (*augered foundations*), pengaturan *template* didukung dan disesuaikan dengan dudukan dongkrak. *Stub* terhubung ke pengaturan *template* yang bergantung ke lubang bor atau di atas kepala tiang. Sumbu menara harus memotong sumbu garis di menara penguat pilar. Dasar menara atau pengaturan *template* dapat disesuaikan menggunakan sebuah teodolit. Tanda referensi pada *template* atau dasar menara dapat memudahkan kegiatan ini.

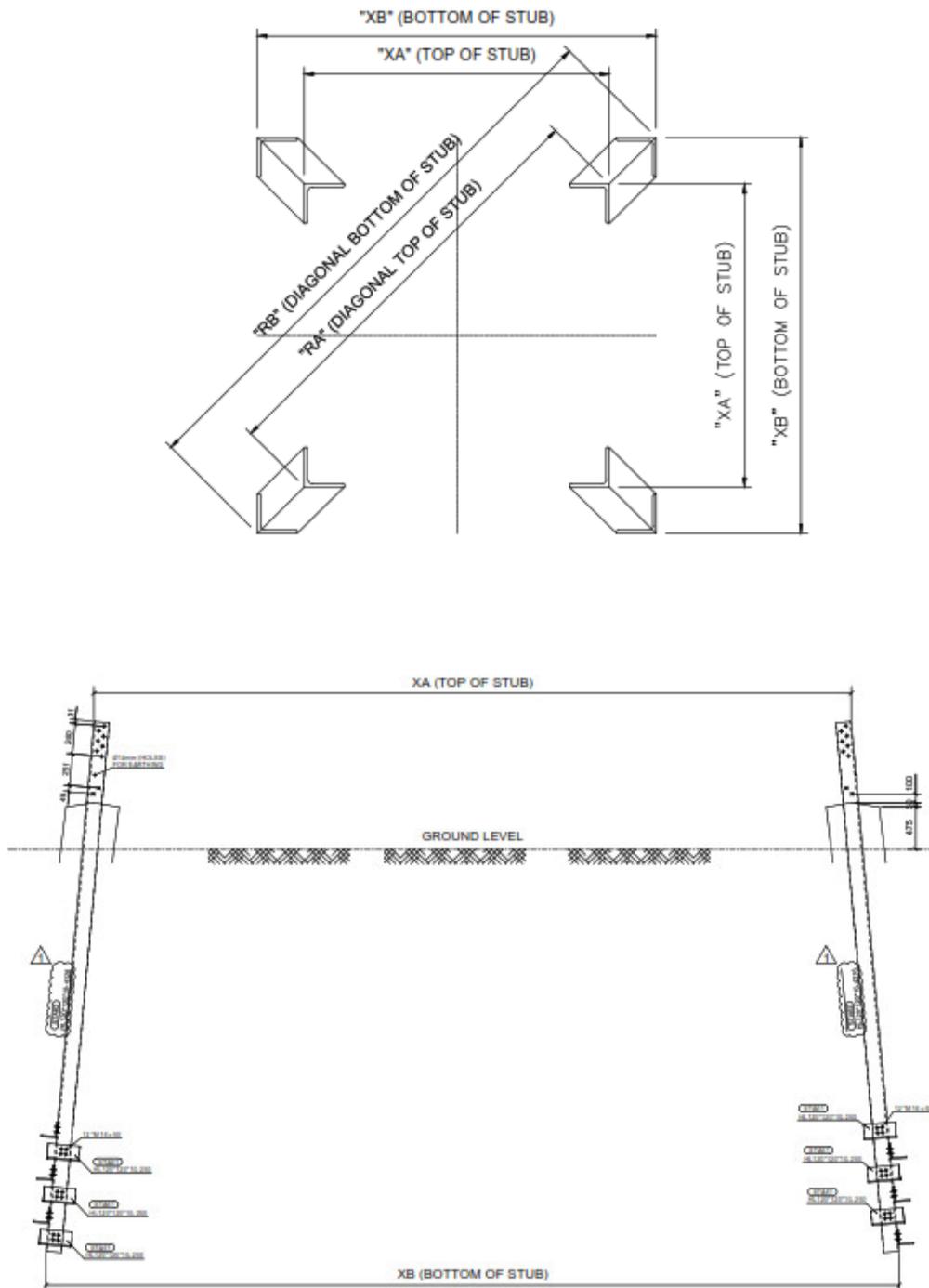
Pengaturan *stub* secara individual telah membuktikan kualifikasinya terutama dalam kasus *wide-spread tower* dan *tower* dengan perbedaan besar dalam tingkat pondasi bagian kaki individual. Setiap *stub* bagian kaki secara terpisah disesuaikan dengan posisi yang diperlukan. Sebuah peralatan secara skematis ditunjukkan untuk mengatur *stub* secara individual pada **Gambar 21**. *Stub* sebaiknya di-*leveling* secara hati-hati sesuai dengan toleransi maksimum antara tingkat tertinggi dan kaki paling bawah tidak lebih dari 6 mm. *Stub setting* pada suatu instalasi Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dapat dilihat pada **Gambar 22**.



Gambar 22. *Stub setting* yang dilakukan pekerja instalasi menara SUTT

Salah satu karakteristik salah satu gambar dan ukuran *stub* tipe AA6 150kV adalah sebagai berikut:





Gambar 23. Template stub tipe AA6 150 kV. Sumber: Document title: TOWER 150 kV SUTT 2xZebra Setting Stub. Manufacturing Drawing Doc. No.: DMS-150KV-AA6-15. Manufactured by PT. Danusari Mitra Sejahtera



Tabel 1. Karakteristik ukuran tipe tower AA6. Document title: TOWER 150 kV SUTT 2xZebra Setting Stub. Manufacturing Drawing Doc. No.: DMS-150KV-AA6-15. Manufactured by PT. Danusari Mitra Sejahtera

Tipe tower AA6	Panjang stub (mm)	XA (mm)	XB (mm)	RA (mm)	RB (mm)	Slope angle on section (°)	Slope angle on diagonal (°)
Basis +0.00 m	4126	5400.40	6136.86	7637.32	8678.83	5.120	7.251
Basis +3.00 m	4126	5940.16	6676.62	8400.65	9442.16	5.120	7.251
Basis +6.00 m	4126	7216.38	7216.38	9163.99	10205.50	5.120	7.251
Basis +9.00 m	4126	7756.16	7756.16	9927.35	10968.86	5.120	7.251
Basis +12.00 m	4126	8295.92	8295.92	10690.67	11732.20	5.120	7.251
Basis +15.00 m	4126	8835.72	8835.72	11454.07	12495.59	5.120	7.251

2.4 Teori Dasar Perancangan

2.4.1 Pengertian perancangan

Perancangan adalah suatu proses untuk membuat dan mendesain sistem yang baru, baik sistem fisik maupun non fisik yang optimum untuk waktu yang akan datang dengan memanfaatkan informasi yang ada.

2.4.2 Kriteria perancangan

Adapun kriteria umum yang dipertimbangan dalam suatu perancangan adalah sebagai berikut:

1. *Function* (fungsi/pemakaian)
2. *Safety* (keamanan)
3. *Reliability* (dapat dihandalkan)
4. *Cost* (biaya)
5. *Manufacturability* (dapat diproduksi)
6. *Marketability* (dapat dipasarkan)

2.4.3 Prosedur dalam perancangan

Untuk merancang alat dan sistem mekanis kita harus mampu merancang elemen mesin tunggal yang membentuk sistem dan juga mampu menggabungkan beberapa komponen dan peralatan menjadi satu sistem yang selaras dan kuat yang akan memenuhi kebutuhan konsumen. Menurut Nur dan Suyuti (2018), perancangan komponen mesin terdapat beberapa prosedur. Adapun umum dalam perancangan mesin sebagai berikut:



1. **Mengenali kebutuhan/tujuan.** Pertama adalah membuat pernyataan yang lengkap dari masalah perancangan, menunjukkan kebutuhan/tujuan, maksud/usulan dari mesin yang dirancang.
2. **Mekanisme.** Pilih mekanisme atau kelompok mekanisme yang mungkin.
3. **Analisis gaya.** Tentukan gaya aksi pada setiap bagian mesin dan energi yang ditransmisikan pada setiap bagian mesin.
4. **Pemilihan material.** Pilih material yang paling sesuai untuk setiap bagian dari mesin.
5. **Rancang elemen-elemen (ukuran dan tegangan).** Tentukan bentuk dan ukuran bagian mesin dengan mempertimbangkan gaya aksi pada elemen mesin dan tegangan yang diijinkan untuk material yang digunakan.
6. **Modifikasi.** Mengubah/memodifikasi ukuran berdasarkan pengalaman produksi yang lalu. Pertimbangan ini biasanya untuk menghemat biaya produksi.
7. **Gambar detail.** Menggambar secara detail setiap komponen dan perakitan mesin dengan spesifikasi lengkap untuk proses produksi.
8. **Produksi.** Komponen bagian mesin seperti tercantum dalam gambar detail diproduksi di *workshop*.

2.4.4 Tujuan perancangan

Tujuan dari suatu perancangan khususnya perancangan industri adalah untuk menghasilkan produk yang bermanfaat yang memenuhi keinginan konsumen dengan pembuatannya yang cukup aman, efisien, andal, ekonomis, dan praktis. Dalam proses merancang suatu produk, maka perlu dipikirkan siapa konsumen yang berkepentingan dengan produk atau sistem yang akan dirancang.

2.4.5 Pertimbangan dalam suatu perancangan

Dalam suatu perancangan dipertimbangkan beberapa hal agar suatu mesin dapat berfungsi optimal sehingga menghasilkan produk yang berkualitas. Berikut ini adalah pertimbangan umum dalam perancangan sebuah komponen mesin, diantaranya sebagai berikut:



- beban dan tegangan-tegangan yang bekerja pada komponen mesin.
- geometri dari bagian-bagian atau kinematika dari mesin.
- pemilihan material.

4. Bentuk dan ukuran *part*.
5. Tahan gesekan dan pelumasan.
6. Segi ketepatan dan ekonomi.
7. Penggunaan standar *part*.
8. Keamanan operasi.
9. Fasilitas *workshop* (bengkel).
10. Jumlah mesin untuk produksi.

2.4.6 Standar, kode, dan peraturan pemerintah dalam desain

Pembatas desain disediakan oleh organisasi pemasaran dan manajemen insinyur-insinyur termasuk standar, kode, dan peraturan-peraturan pemerintah, baik dalam dan luar negeri (Nur & Suyuti, 2018).

Standar adalah didefinisikan sebagai kriteria, aturan, prinsip, atau gambaran yang dipertimbangkan oleh seorang ahli, sebagai dasar perbandingan atau keputusan atau sebagai model yang diakui.

Kode adalah koleksi sistematis dari hukum yang ada pada suatu negara atau aturan-aturan yang berhubungan dengan subyek yang diberikan.

Peraturan pemerintah adalah peraturan-peraturan yang berkembang sebagai hasil perundang-undangan untuk mengontrol beberapa area kegiatan. Contoh peraturan pemerintah Amerika adalah:

- ANSI (*American National Standards Institute*)
- SAE (*Society of Automotive Engineers*)
- ASTM (*American Society for Testing and Materials*)
- AISI (*American Iron and Steel Institute*)

2.5 Konsep Dasar Perancangan

Menurut Nur dan Suyuti (2018), perancangan adalah suatu proses yang bertujuan untuk menganalisis, menilai, memperbaiki dan menyusun suatu sistem, baik sistem fisik maupun non fisik yang optimum untuk waktu yang akan datang memanfaatkan informasi yang ada.



2.6 Fixture

Jig dan *fixture* adalah alat manufaktur yang digunakan untuk menghasilkan yang dapat dipertukarkan dan komponen yang identik. Keduanya merupakan pemandu alat dan pegangan kerja yang unik, perangkat yang dirancang khusus untuk pemrosesan dan perakitan sejumlah besar suatu komponen (Hoffman, 2004). *Jig* dilengkapi dengan pemandu alat, sedangkan *fixture* menahan benda kerja (*workpiece*) dengan aman di posisi yang benar selama operasi (Joshi, 2003). *Fixture* berperan penting dalam memperpendek waktu siklus produksi dan memastikan kualitas produksi, sehingga mengurangi biaya produksi (Rong et al., 2005).

Dalam merancang suatu desain *fixture*, keberhasilannya dimulai dengan perencanaan yang logis dan sistematis dengan analisis yang dibutuhkan secara menyeluruh, serta dapat meminimalisir masalah desain yang terjadi (Bhosale et al., 2017).

Menurut Hoffman (2004), beberapa tipe *fixture* secara umum antara lain:

1. *Plate fixture*

Plate fixture adalah bentuk paling sederhana dari *fixture*. *Fixture* dasar dibuat dari pelat datar yang mempunyai variasi *clamp* dan *locator* untuk memegang dan memosisikan benda kerja. Konstruksi *fixture* ini sederhana sehingga bisa digunakan pada hampir semua proses pemrosesan.

2. *Angle plate fixture*

Angle plate fixture adalah variasi dari *fixture* pelat. Dengan *fixture* ini, komponen di mesin pada sudut tegak lurus terhadap lokatornya. Jika sudutnya selain 90 derajat, *fixture* pelat sudut yang dimodifikasi bisa digunakan.

3. *Vise-jaw fixture*

Vise-jaw fixture digunakan untuk pemrosesan komponen kecil. Dengan alat ini, *vise-jaw* standar digantikan dengan *jaw* yang dibentuk sesuai dengan bentuk komponen.

4. *Indexing fixture*

Indexing fixture jenis ini digunakan untuk pemrosesan komponen yang mempunyai detail pemrosesan untuk rongga yang detail.



station fixture

Multistation fixture adalah jenis *fixture* untuk kecepatan tinggi, volume produksi tinggi dimana siklus pemesinan kontinyu. *Fixture duplex* adalah jenis paling sederhana dari jenis ini dimana hanya ada dua stasiun. Mesin tersebut bisa memasang dan melepaskan benda kerja ketika pekerjaan pemesinan berjalan. Misalnya ketika pekerjaan pemesinan selesai pada stasiun pertama, perkakas berputar dan siklus diulang pada stasiun kedua. Pada saat yang sama benda kerja dilepaskan pada stasiun pertama dan benda kerja yang baru dipasang.

6. *Profiling fixture*

Profiling fixture digunakan mengarahkan perkakas untuk pemesinan kontur, dimana mesin secara normal tidak bisa melakukannya.

2.7 *Stub Setting Fixture*

Stub setting fixture adalah suatu alat bantu yang digunakan untuk mengatur jarak dan sudut kemiringan antar-*stub*. Alat bantu ini dibuat khusus untuk membantu pekerjaan instalasi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). Alat bantu ini dibuat berdasarkan konsep pemasangan dan pengaturan *stub* secara individual, dimana *stub* diletakkan dan diatur satu persatu secara arah diagonal. Terkadang dalam pemasangan dan pengaturan *stub* dibutuhkan waktu yang relatif lama. Oleh karena itu, alat bantu *stub setting fixture* ini dirancang dan dibuat untuk mengatasi masalah tersebut, serta mengefisienkan pekerjaan dalam kegiatan pemasangan dan pengaturan *stub*.

2.8 Analisis Batang Balok (*Beam*) yang Digunakan

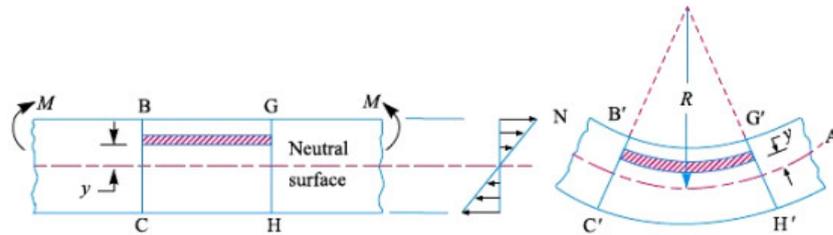
Balok adalah batang yang menopang beban yang bekerja secara lateral atau transversal pada sumbunya (membujur). Komponen lentur ini umumnya digunakan dalam struktur dan mesin. Contohnya termasuk komponen utama yang menopang lantai bangunan, gandar mobil, dan pegas daun (Urugal, 2015).

2.8.1 Tegangan lentur (*bending*)



etika balok menerima momen *bending*, bagian atas balok akan
 ak akibat kompresi dan bagian bawah akan memanjang akibat tarikan.
 ukaan yang antara bagian atas dan bagian bawah yang tidak memendek

dan tidak memanjang, permukaan itu dinamakan permukaan netral. Titik potong permukaan netral dengan sembarang penampang balok dinamakan sumbu netral. Menurut Khurmi dan Gupta (2005), distribusi tegangan dari balok ditunjukkan dalam **Gambar 24**. Persamaan lentur (*bending*) adalah:



Gambar 24. Tegangan lentur (*bending*) pada balok lurus

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{R} \quad (1)$$

Di mana:

M = aksi momen *bending* pada bagian yang diberikan (N.mm)

σ = tegangan lentur (N/mm²)

I = momen inersia dari penampang terhadap sumbu netral (kg/mm²)

y = jarak dari sumbu netral ke arsiran (mm)

E = modulus elastisitas material balok (N/m²)

R = radius kelengkungan balok (mm)

Dari persamaan (1), rumus tegangan lentur (*bending*) adalah:

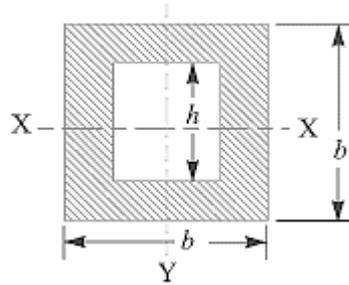
$$\sigma = y \cdot \frac{E}{R} \quad (2)$$

Karena E dan R adalah konstan, maka dalam batas elastis, tegangan pada sembarang titik adalah berbanding lurus terhadap y , yaitu jarak titik ke sumbu netral. Juga dari persamaan di atas, tegangan lentur (*bending*) adalah:

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y = \frac{M}{I/y} = \frac{M}{Z} \quad (3)$$

Rasio I/y diketahui sebagai modulus penampang (*section modulus*) dan dinotasikan Z .





Gambar 25. Balok *hollow* penampang persegi

Pada balok *hollow* penampang persegi persamaan momen inersia yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$I_{xx} = I_{yy} = I = \frac{b^4 - h^4}{12} \quad (4)$$

Jarak dari sumbu netral ke arsiran:

$$y = \frac{b}{2} \quad (5)$$

2.8.2 Tegangan geser (*shear stress*) penampang persegi panjang

Dengan mempertimbangkan distribusi tegangan geser dalam balok yang terkait dengan gaya geser V , tegangan geser vertikal τ_{xy} pada setiap titik pada penampang secara numerik sama terhadap tegangan geser horizontal pada titik yang sama. Tegangan geser dan tegangan normal dianggap seragam di seluruh lebar balok. Tegangan geser $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ pada setiap titik penampang rumus geser:

$$\tau_{xy} = \frac{VQ}{Ib} \quad (6)$$

Dimana:

V = gaya geser pada penampang (N)

b = lebar bagian yang diukur pada titik yang bersangkutan (mm)

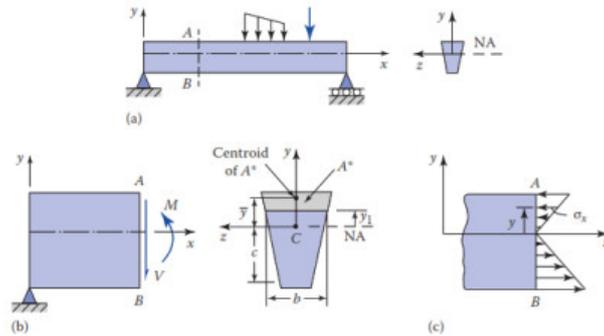
Menurut definisi, Q adalah momen pertama terhadap NA area A^* di luar titik di mana tegangan geser diperlukan. Dengan demikian memiliki rumus:

$$Q = \int_{A^*} y dA = A^* \bar{y} \quad (7)$$

Dimana A^* mewakili luas bagian dari bagian di luar titik yang dimaksud, dan jarak dari NA ke pusat massa A^* . Jelas, jika y diukur di atas NA, Q sama



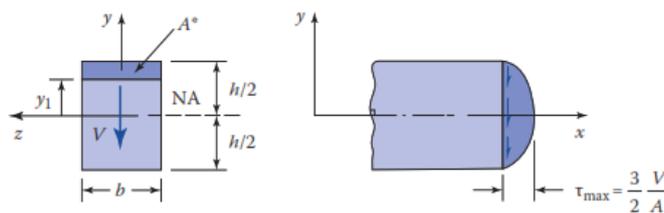
dengan momen pertama area di atas tingkat di mana tegangan geser akan terjadi ditemukan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 26(b)**. Jelas bahwa, tegangan geser bervariasi sesuai dengan bentuk penampang.



Gambar 26. a) sebuah batang dikenakan beban transversal, b) bagian batang, c) distribusi tegangan lentur (*bending*) pada batang

Untuk memastikan bagaimana tegangan geser bervariasi, kita harus memeriksa bagaimana Q bervariasi, karena V , I , dan b adalah konstanta untuk penampang persegi panjang. Dengan demikian, ditemukan bahwa distribusi tegangan geser pada penampang balok persegi panjang adalah parabola. Tegangan adalah 0 pada atas dan bawah penampang ($y_1 = \pm h/2$) dan memiliki nilai maksimum pada NA ($x_1 = 0$) ditunjukkan pada Gambar 27. Karena itu,

$$\tau_{max} = \frac{V}{Ib} A^*\bar{y} = \frac{V}{(bh^3/12)b} \frac{bh}{2} \frac{h}{4} = \frac{3V}{2A} \tag{8}$$



Gambar 27. Tegangan geser pada sebuah balok penampang persegi panjang

Dimana $A = bh$ adalah luas penampang balok yang memiliki kedalaman h dan lebar b . Untuk balok tipis dengan sisi sejajar dengan sumbu, persamaan (6) memberikan solusi yang sesuai dengan distribusi tegangan yang tepat diperoleh dengan metode teori elastisitas. Persamaan (8) sangat berguna, karena balok-

rgan bentuk penampang persegi sering kali dikerjakan dalam praktis. aya geser yang bekerja pada lebar balok per satuan panjang sepanjang alok dapat diperoleh dengan mengalikan τ_{xy} dalam persamaan (6) dan



(7) pada **Gambar 26(b)**. besaran ini dilambangkan dengan q , yang dikenal sebagai aliran geser,

$$q = \frac{VQ}{I} \quad (9)$$

Persamaan ini berlaku untuk setiap balok yang memiliki penampang yang simetris terhadap sumbu. Hal ini sangat berguna dalam analisis balok *built-up*. Balok jenis ini dibuat oleh menggabungkan dua atau lebih potongan material. Balok *built-up* umumnya dirancang atas dasar asumsi bahwa bagian-bagian tersebut terhubung secara memadai sehingga balok bertindak sebagai satu bagian.

2.9 Analisis Elemen Mesin yang Digunakan pada *Stub Setting Fixture*

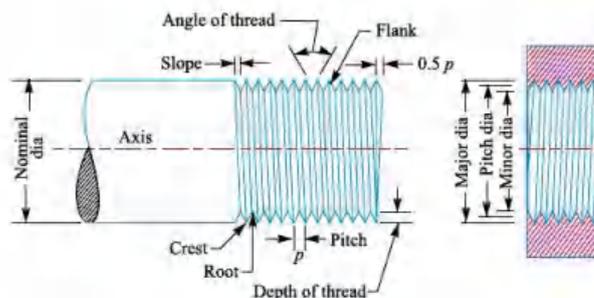
Pada perancangan mesin terdapat beberapa elemen-elemen yang berperan penting berdasarkan fungsinya masing-masing. Elemen-elemen mesin merupakan bagian penting dari bidang perancangan industri yang lebih besar dan lebih umum. Perancang dan *engineer* perancangan menciptakan peralatan atau sistem untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan khusus.

Peralatan mekanis biasanya meliputi komponen-komponen penggerak yang menggerakkan daya dan melakukan pola-pola khusus, sistem mekanis terdiri atas beberapa peralatan mekanis. Oleh karena itu, untuk merancang alat dan sistem mekanis, kita harus mampu merancang elemen mesin tunggal yang membentuk sistem dan mampu juga menggabungkan beberapa komponen dan peralatan menjadi satu sistem yang selaras dan kuat, yang akan memenuhi kebutuhan konsumen.

2.9.1 Sambungan ulir

Sebuah ulir (*screwed*) dibuat dengan melakukan pemotongan secara kontinyu alur melingkar pada permukaan silinder. Sambungan ulir sebagian besar terdiri dari dua elemen yaitu baut (*bolt*) dan mur (*nut*). Sambungan ulir banyak digunakan dimana bagian mesin dibutuhkan dengan mudah disambung dan dilepas kembali tanpa merusak mesin. Ini dilakukan dengan maksud untuk aikan/menyetel pada saat perakitan (*assembly*) atau perbaikan, atau in (Nur & Suyuti, 2018).





Gambar 28 Istilah-istilah pada ulir.

Keterangan:

1. *Major diameter* adalah diameter terbesar pada ulir eksternal atau internal dinamakan juga *outside* atau *nominal diameter*.
2. *Minor diameter* adalah diameter terkecil pada ulir eksternal atau internal dinamakan juga *core* atau *root diameter*.
3. *Pitch diameter* adalah diameter rata-rata silinder. Dinamakan juga *effective diameter*. *Pitch* adalah jarak antara puncak ulir.
4. *Crest* (puncak) adalah permukaan atas pada ulir.
5. *Root* (lembah) adalah permukaan bawah yang dibentuk oleh dua sisi berdekatan dari ulir.
6. *Depth of thread* adalah jarak tegak lurus antara *crest* dan *root*.
7. *Angle of thread* adalah sudut antara *flank* ulir.
8. *Slope* adalah setengah pitch ulir.

Dimensi desain ISO untuk ulir, baut dan mur dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Ulir metrik

Designation	Pitch (mm)	Major or nominal diameter Nut and Bolt ($d =$ D) mm	Effective or pitch diameter nut and bolt (d_p) mm	Minor or core diameter (d_c) mm		Depth of thread (bolt) mm	Stress area mm ²
				Bolt (5)	Nut (6)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>Coarse series</i>							
M 0.4	0.1	0.400	0.335	0.277	0.292	0.061	0.074
M 0.6	0.15	0.600	0.503	0.416	0.438	0.092	0.166
M 0.8	0.2	0.800	0.670	0.555	0.584	0.123	0.295
M 1	0.25	1.000	0.838	0.693	0.729	0.153	0.460
M 1.2	0.25	1.200	1.038	0.893	0.929	0.158	0.732
M 1.6	0.3	1.400	1.205	1.032	1.075	0.184	0.983
M 2	0.35	1.600	1.373	1.171	1.221	0.215	1.27
M 2.5	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
M 3	0.35	1.800	1.573	1.371	1.421	0.215	1.70
M 4	0.4	2.000	1.740	1.509	1.567	0.245	2.07
M 5	0.45	2.200	1.908	1.648	1.713	0.276	2.48



M 2.5	0.45	2.500	2.208	1.948	2.013	0.276	3.39
M 3	0.5	3.00	2.675	2.387	2.459	0.307	5.03
M 3.5	0.6	3.500	3.110	2.764	2.850	0.368	6.78
M 4	0.7	4.000	3.545	3.141	3.242	0.429	8.78
M 4.5	0.75	4.500	4.013	3.580	3.688	0.460	11.3
M 5	0.8	5.000	4.480	4.019	4.134	0.491	14.2
M 6	1	6.000	5.350	4.773	4.918	0.613	20.1
M 7	1	7.000	6.350	5.773	5.918	0.613	28.9
M 8	1.25	8.000	7.188	6.466	6.647	0.767	36.6
M 10	1.5	10.000	9.026	8.160	8.876	0.920	58.3
M 12	1.75	12.000	10.863	9.858	10.106	1.074	84.0
M 14	2	14.000	12.701	11.546	11.835	1.227	115
M 16	2	16.000	14.701	13.546	13.835	1.227	157
M 18	2.5	18.000	16.376	14.933	15.294	1.534	192
M 20	2.5	20.000	18.376	16.933	17.294	1.534	245
M 22	2.5	22.000	20.376	18.933	19.294	1.534	303
M 24	3	24.000	22.051	20.320	20.752	1.840	353
M 27	3	27.000	25.051	23.320	23.752	1.840	459
M 30	3.5	30.000	27.727	25.706	26.211	2.147	561
M 33	3.5	33.000	30.727	28.706	29.211	2.147	694
M 36	4	36.000	33.402	31.093	31.670	2.454	817
M 39	4	39.000	36.402	34.093	34.670	2.454	976
M 42	4.5	42.000	39.077	36.416	37.129	2.760	1104
M 45	4.5	45.000	42.077	39.416	40.129	2.760	1300
M 48	5	48.000	44.752	41.795	42.587	3.067	1465
M 52	5	52.000	48.752	45.795	46.587	3.067	1755
M 56	5.5	56.000	52.428	49.177	50.046	3.067	2022
M 60	5.5	60.000	56.428	53.177	54.046	3.374	2360

Fine Series

M 8 x 1	1	8.000	7.350	6.773	6.918	0.613	39.2
M 10 x 1.25	1.25	10.000	9.188	8.466	8.647	0.767	61.6
M 12 x 1.25	1.25	12.000	11.184	10.466	10.647	0.767	92.1
M 14 x 1.5	1.5	14.000	13.026	12.160	12.376	0.920	125
M 16 x 1.5	1.5	16.000	15.026	14.160	14.376	0.920	167
M 18 x 1.5	1.5	18.000	17.026	16.160	16.376	0.920	216
M 20 x 1.5	1.5	20.000	19.026	18.160	18.376	0.920	272
M 22 x 1.5	1.5	22.000	21.026	20.160	20.376	0.920	333
M 24 x 2	2	24.000	22.701	21.546	21.835	1.227	384
M 27 x 2	2	27.000	25.701	24.546	24.835	1.227	496
M 30 x 2	2	30.000	28.701	27.546	27.835	1.227	621
M 33 x 2	2	33.000	31.701	30.546	30.835	1.227	761
M 36 x 3	3	36.000	34.051	32.319	32.752	1.840	865
M 39 x 3	3	39.000	37.051	35.319	35.752	1.840	1028

Note: In case the table is not available, then core diameter (d_c) may taken as $0.84 d$, where d is the major diameter.

Selain ukuran, baut juga memiliki kelas masing-masing. Pada Tabel 3, beberapa karakteristik baut berdasarkan kelasnya antara lain:



Tabel 3. Sifat mekanik beberapa tingkatan baut, screw, dan stud. (Budynas & Nisbett, 2008)

Property Class	Size Range, Inclusive	Minimum Proof Strength,* MPa	Minimum Tensile Strength,* MPa	Minimum Yield Strength,* MPa	Material	Head Marking
4.6	M5 - M36	225	400	240	Low or medium carbon	
4.8	M1.6 -M16	310	420	340	Low or medium carbon	
5.8	M5 – M24	380	520	420	Low or medium carbon	
8.8	M16 – M36	600	830	660	medium carbon, Q&T	
9.8	M1.6 – M16	650	900	720	medium carbon, Q&T	
10.9	M5 – M36	830	1040	940	Low-carbon martensite, Q&T	
12.9	M1.6 – M36	970	1220	1100	Alloy, Q&T	

*minimum strength are strengths exceed by 99 percent of fasteners.

1. Tegangan geser baut yang dipengaruhi beban eksternal

Menurut Khurmi dan Gupta (2005), untuk mengetahui berapa kekuatan baut akibat menerima tegangan geser, maka dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$P_s = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times \tau \times n \quad (10)$$

Dimana:

P_s = beban geser yang diterima baut (N)

d = diameter baut (mm)

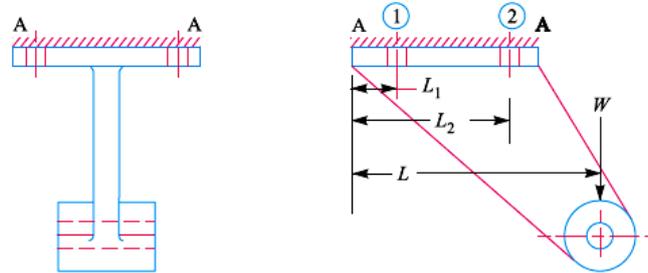
τ = tegangan geser material baut (N/mm²)

n = jumlah baut



2. Beban eksentris yang sejajar terhadap sumbu baut

Pada **Gambar 29** ada empat baut yang mana setiap baut mendapat beban tarik utama $W_1 = W/n$, dimana n adalah jumlah baut.



Gambar 29. Beban eksentris yang sejajar dengan sumbu baut

Misalkan:

W = beban baut per unit jarak terhadap pengaruh balik *bracket* (N)

W_1 = beban baut 1 pada jarak L_1 dari sisi tepi (N)

W_2 = beban baut 2 pada jarak L_2 dari sisi tepi (N)

Beban setiap baut 1 pada jarak L_1 adalah:

$$W_1 = W \cdot L_1 \text{ (N)}$$

dan momen gaya terhadap sisi tepi

$$W \cdot L_1 \cdot L_1 = W \cdot (L_1)^2 \text{ (N.mm)}$$

Beban setiap baut 2 pada jarak L_2 adalah:

$$W_2 = W \cdot L_2 \text{ (N)}$$

dan momen gaya terhadap sisi tepi adalah:

$$W \cdot L_2 \cdot L_2 = W \cdot (L_2)^2 \text{ (N.mm)}$$

Total momen gaya pada baut terhadap sisi tepi:

$$2W \cdot (L_1)^2 + 2W \cdot (L_2)^2 \text{ (N.mm)} \quad (11)$$

Momen akibat beban W terhadap sisi tepi:

$$W \cdot L \text{ (N.mm)} \quad (12)$$

Dari persamaan (11) dan (12) diperoleh:

$$W \cdot L = 2W \cdot (L_1)^2 + 2W \cdot (L_2)^2$$

$$W = \frac{W \cdot L}{2[(L_1)^2 + (L_2)^2]} \quad (13)$$

Beban tarik dalam setiap baut pada jarak L_2 adalah:

$$= W_2 = W \cdot L_2 = \frac{W \cdot L \cdot L_2}{2[(L_1)^2 + (L_2)^2]} \quad (14)$$

! beban tarik pada baut yang dibebani paling besar adalah:



$$W_t = W_{t1} + W_{t2} \quad (15)$$

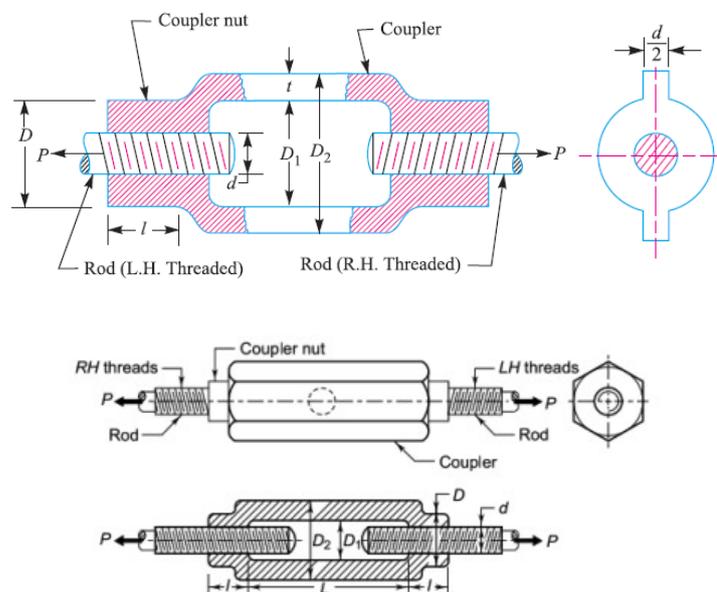
Jika d_c adalah diameter *core* (minor) dari baut dan σ_t adalah tegangan tarik untuk material baut, maka total beban tarik W_t :

$$W_t = \frac{\pi}{4} (d_c)^2 \cdot \sigma_t \text{ (N)} \quad (16)$$

Dari persamaan (15) dan (16), nilai d_c dapat diperoleh.

2.9.2 Span skrup (*turnbuckle*)

Konstruksi *turnbuckle* ditunjukkan pada **Gambar 30**. Konstruksi ini terdiri dari bagian tengah disebut *coupler* dan dua *rod* (batang). Batang satu memiliki ulir kanan sedangkan batang lainnya memiliki ulir kiri. Bagian berulir dari batang disekrup ke *coupler* di kedua ujungnya. Saat *coupler* pusat berputar, batangnya ditarik bersama-sama atau didorong terpisah tergantung pada arah putaran *coupler*. bagian luar bagian dari *coupler* diberikan bentuk heksagonal sehingga dapat diputar dengan menggunakan kunci pas (Khurmi & Gupta, 2005).



Gambar 30. Span skrup (*turnbuckle*)

Turnbuckle digunakan untuk menghubungkan dua batang yang berada dalam tegangan dan memerlukan sedikit penyesuaian panjang selama perakitan.

Beberapa aplikasinya adalah sebagai berikut:



- mengencangkan bagian rangka atap.
- mengencangkan kabel atau tali penahan dari tiang distribusi listrik.
- menghubungkan tie *rod* ke *jib* jika terjadi *jib-crane*.

Batang dikencangkan dengan menerapkan gaya pada pegangan kunci pas dan putaran *coupler* heksagonal.

- Desain *rod*

Setiap batang mengalami gaya tarik P dan momen puntir. Pada tahap awal, tidak mungkin untuk menemukan momen puntir. Dengan mempertimbangkan gaya tarik saja, maka:

$$\sigma_t = \frac{P}{A} = \frac{P}{\left(\frac{\pi}{4} d_c^2\right)} \quad (17)$$

Sehingga

$$P = A \sigma_t \quad (18)$$

Di mana:

P = gaya tarik (N)

A = luas penampang tegangan tarik ulir bagian batang (mm^2)

σ_t = tegangan tarik ($\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$)

d_c = diameter *core rod* (mm)

Torsi pada *rod*:

$$T = P \tan(\alpha + \Phi) \frac{d_p}{2} \quad (19)$$

Di mana:

T = Torsi pada *rod* (N.mm)

α = sudut helix ulir *rod* ($^\circ$)

Φ = Koefisien gesek antara ulir *rod* dan *coupler*

d_p = diameter *pitch* dalam (mm)

$\tan \alpha = 0,03$, $\tan \Phi = 0,2$, dan $d_p = 1,08 d_c$

Tegangan geser pada *rod* dalam N/mm^2 :

$$\tau = \frac{8P}{\pi(d_p)^2} \left[\frac{\tan \alpha + \tan \Phi}{1 - \tan \alpha \times \tan \Phi} \right]$$

$$\tau = \frac{8P}{\pi(1,08 d_c)^2} \left[\frac{0,03 + 0,2}{1 - 0,03 \times 0,2} \right]$$

$$\tau = \frac{8P}{4\pi(d_c)^2} = \frac{P}{2A}$$

$$= \frac{\sigma_t}{2}$$

(20)

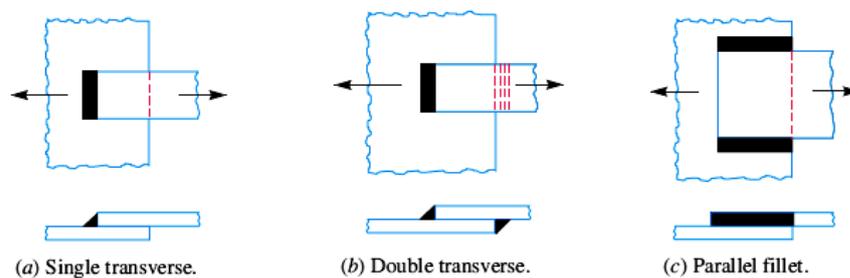


2.9.3 Sambungan Las

Sambungan las adalah sebuah sambungan permanen yang dihasilkan dari peleburan sisi dua bagian yang disambung bersamaan, dengan atau tanpa tekanan dan bahan pengisi. Panas yang dibutuhkan untuk peleburan bahan diperoleh dengan pembakaran gas (untuk pengelasan gas) atau bunga api listrik (untuk las listrik) (Khurmi & Gupta, 2005). Jenis-jenis sambungan las antara lain:

1) *Lap joint* atau *fillet joint*

Sambungan ini diperoleh dengan pelapisan pelat dan kemudian mengelas sisi dari pelat-pelat. Bagian penampang *fillet* (sambungan las tipis) mendekati *triangular* (bentuk segitiga). Sambungan *fillet* bentuknya seperti pada **Gambar 31** a), (b), dan (c).



Gambar 31. Sambungan-sambungan las *lap joint*

2) Sambungan Las *Butt Joint*.

Sambungan *Butt joint* diperoleh dengan menempatkan sisi pelat seperti ditunjukkan pada **Gambar 32**. Dalam pengelasan *butt joint*, sisi pelat tidak memerlukan kemiringan jika ketebalan pelat kurang dari 5 mm. Jika tebal plat adalah 5 mm sampai 12,5 mm, maka sisi yang dimiringkan berbentuk alur V atau U pada kedua sisi.

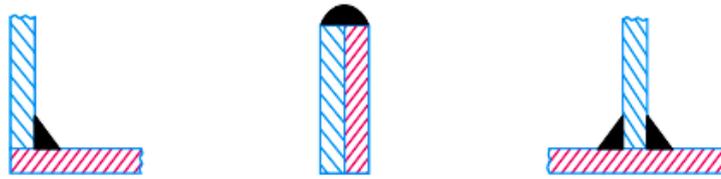


Gambar 32. Sambungan-sambungan las *butt Joint* a) *square butt joint* b) *single v-butt joint* c) *single U-butt joint* d) *double V-butt joint* e) *double U-butt joint*

3) Jenis lain sambungan las Lainnya.

Selain sambungan las *Lap Joint* dan *Butt Joint* terdapat beberapa jenis sambungan lainnya seperti pada **Gambar 33**.



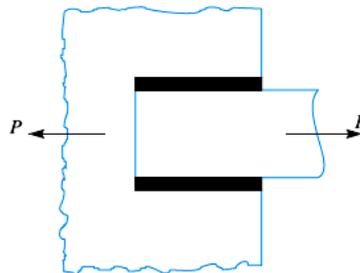


Gambar 33. Berbagai jenis sambungan las lainnya a) *corner joint* b) *edge joint* c) *T-joint*

1. Kekuatan sambungan las

a. Sambungan las jenis *double parallel fillet*

Sambungan las jenis *double parallel fillet* dirancang untuk kekuatan geser. Berdasarkan **Gambar 34**. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menentukan kekuatan sambungan las:



Gambar 34. Sambungan las jenis *double parallel fillet*

Luas leher las:

$$A = 0,707 \times s \times l$$

kekuatan sambungan las:

$$P = 2 \times \text{luas leher las} \times \text{tegangan geser izin material las}$$

$$P = 2 \times 0,707 \times s \times l \times \tau \quad (21)$$

Di mana:

A = luas leher las (mm^2)

P = beban yang mampu ditahan oleh sambungan las (N)

s = ukuran las (mm)

l = panjang las (mm)

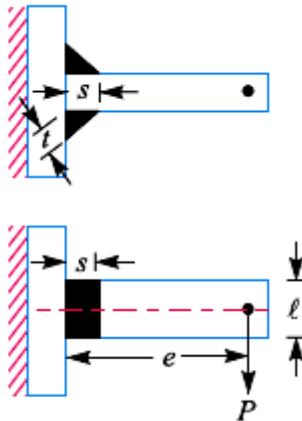
τ = tegangan geser izin material las (N/mm^2)

b. Sambungan las dengan beban eksentris

Menurut Khurmi dan Gupta (2005), beban eksentris dapat terjadi pada sambungan las dengan berbagai cara. Ketika tegangan geser dan



tegangan lentur (*bending*) secara simultan terjadi pada sambungan, maka tegangan maksimum menjadi:



Gambar 35. Sambungan las yang menerima beban eksentris

Tegangan normal maksimum:

$$\sigma_{t(max)} = \frac{\sigma_b}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_b)^2 + 4\tau^2} \quad (22)$$

Tegangan geser maksimum:

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_b)^2 + 4\tau^2} \quad (23)$$

Dimana:

$\sigma_{t(max)}$ = tegangan normal maksimum (N/mm²)

σ_b = tegangan lentur (*bending*) (N/mm²)

τ = tegangan geser dalam (N/mm²)

l = panjang las (mm)

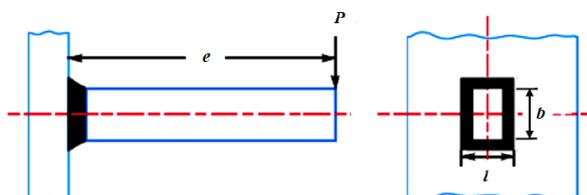
s = ukuran las (mm)

t = tebal leher las (mm)

Jenis sambungan las ini mendapat dua jenis tegangan:

1. Tegangan geser langsung akibat gaya geser P pada las, dan
2. Tegangan bending akibat momen lentur (*bending*) $P \times e$.

a) Sambungan las *fillet* segiempat beban eksentris



Gambar 36. Sambungan las *fillet* segiempat yang menerima beban eksentris

Jika jenis pengelasan seperti pada **Gambar 36**, maka:
luas leher las *fillet*:

$$A = t(2b + 2l) = 0.707s(2b + 2l) \quad (24)$$

Tegangan geser utama:

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (25)$$

Modulus penampang:

$$Z = \left(b.l + \frac{b^2}{3} \right) \quad (26)$$

Momen lentur:

$$M = P.e \quad (27)$$

Di mana:

A = luas leher las *fillet* (mm²)

P = gaya/beban (N)

e = jarak gaya/beban ke sambungan las (mm)

M = momen lentur (N.mm)

Tegangan lentur:

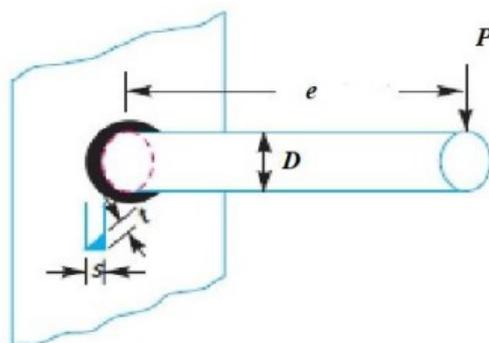
$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (28)$$

Di mana:

σ_b = tegangan lentur (N/mm²)

Z = modulus penampang (mm³)

b) Sambungan las *fillet* melingkar beban eksentris



Gambar 37. Sambungan las *fillet* melingkar beban eksentris



Jika jenis pengelasan seperti pada **Gambar 37**, maka:

Luas leher las *fillet*:

$$A = t \times \pi D = 0.707 s \times \pi D \quad (29)$$

Dimana:

A = luas leher las *fillet* (mm^2)

t = tebal leher las = $0.707 s$ (mm)

s = ukuran las (mm)

D = diameter pipa (mm)

Tegangan geser utama:

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (30)$$

Modulus penampang:

$$Z = \frac{\pi t D^2}{4} \quad (31)$$

Momen lentur:

$$M = P \cdot e \quad (32)$$

Di mana:

τ = tegangan geser utama (N/mm^2)

P = gaya/beban dalam (N)

e = jarak gaya/beban ke sambungan las (mm)

Tegangan lentur:

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (33)$$

Di mana:

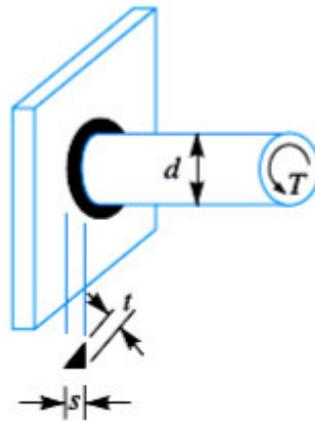
σ_b = tegangan lentur dalam (N/mm^2)

Z = modulus penampang dalam (mm^3)

c. Sambungan las *fillet* melingkar yang dikenai torsi

Batang silinder yang dihubungkan ke pelat kaku dengan las *fillet* seperti pada **Gambar 38**.





Gambar 38. Batang silinder yang dihubungkan ke pelat kaku dengan las *fillet* yang dikenai torsi

Misalkan:

d = diameter batang (mm)

r = radius batang (mm)

T = torsi yang bekerja pada batang (N.mm)

s = ukuran las (mm)

t = tebal leher (mm)

J = momen inersia polar dari bagian las = $\pi \cdot t \cdot d^3 / 4$

Kita ketahui bahwa tegangan geser untuk material adalah:

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J} = \frac{T \cdot \frac{d}{2}}{J} = \frac{T \cdot \frac{d}{2}}{\pi \cdot t \cdot \frac{d^3}{4}} = \frac{2 \cdot T}{\pi \cdot t \cdot d^2} \quad (34)$$

Dimana

$$\therefore \frac{T}{J} = \frac{\tau}{r} \quad (35)$$

Tegangan geser terjadi pada bidang horisontal sepanjang las *fillet*. Geser maksimum terjadi pada leher las dengan sudut 45° dari bidang horisontal.

Panjang leher, $t = s \cdot \sin 45^\circ = 0,707 \cdot s$.

dan tegangan geser maksimum adalah:

$$\tau_{max} = \frac{2 \cdot T}{\pi \cdot 0,707 \cdot s \cdot d^2} = \frac{2,83 \cdot T}{\pi \cdot s \cdot d^2} \quad (36)$$



2. Tegangan geser yang diizinkan pada sambungan las

Untuk menentukan tegangan geser material las yang diizinkan, dapat menggunakan acuan pada beberapa jenis tingkat kekuatan material las seperti pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Tegangan geser yang diizinkan pada leher jenis pengelasan *fillet* atau *partial penetration weld* beberapa tingkat kekuatan material las. (Budynas & Nisbett, 2008)

	Strength Level of Weld Metal (EXX)						
	60*	70*	80*	90*	100*	110*	120
	Allowable shear on throat, ksi (1000 psi) of fillet weld or partial penetration groove weld						
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0

* *fillet actually tested by the joint AISC-AWS Task Committee.*

